GEODETICKÝ a KARTOGRAFICKÝ

Obzor

Český úřad geodetický a kartografický
Slovenský úrad geodézie a kartografie

9/92

Praha, září 1992
Roč. 38 (80) ● Číslo 9 ● str. 179–200
Cena Kčs 7,–

GEODETICKÝ A KARTOGRAFICKÝ OBZOR

odborný časopis Českého úřadu geodetického a kartografického a Slovenského úradu geodézie a kartografie

Redakce:

Ing. Stanislav Olejník — vedoucí redaktor

Ing. Ján Vanko — zástupce vedoucího redaktora

Ing. Bohumil Šídlo — technický redaktor

Redakční rada:

Ing. Jiří Šíma, CSc. (předseda redakční rady), **Ing. Juraj Kadlic, CSc.** (místopředseda redakční rady), **prof. Ing. Jaroslav Abelovič, CSc., Ing. Marián Beňák, Ing. Petr Chudoba, Ing. Ivan Ištvánffy, doc. Ing. Zdenek Novák, CSc., Ing. Zdenka Roulová**

Vydává Český úřad geodetický a kartografický a Slovenský úrad geodézie a kartografie v SNTL — Nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, 113 02 Praha 1, telefon 29 63 51. Redakce: Zeměměřický ústav, Kostelní 42, 170 00 Praha 7, tel. 479 24 49, fax 38 22 33. Adresa slovenskej redakcie: VÚGK, Chlumeckého 4, 826 62 Bratislava, telefón 29 60 41, fax 29 20 28. Sází Svoboda, a. s., Praha 10-Malešice, tisknou Hradecké tiskárny, s. p. (provoz 10), Hradec Králové.

Vychází dvanáctkrát ročně. Cena jednotlivého čísla 7 Kčs, celoroční předplatné 84 Kčs. Rozšiřuje PNS. Informace o předplatném podá a objednávky přijímá každá administrace PNS, pošta, doručovatel a PNS — ÚED Praha, AOT, Kafkova 19, 160 00 Praha 6, PNS — ÚED Praha, závod 02, Joštova 2, 656 07 Brno, PNS — ÚED Praha, závod 03, 28. října 206, 709 90 Ostrava 9. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS — ústřední expedice a dovoz tisku, V celnici 4, 110 00 Praha 1.

Náklad 1 200 výtisků. Toto číslo vyšlo v září 1992, do sazby v červnu 1992, do tisku 11. září 1992. Otisk povolen jen s udáním pramene a zachováním autorských práv.

© SNTL — Nakladatelství technické literatury 1992

Obsah

Ing. Ivan Ištvánffy
Príprava rezortu SÚGK na účinnosť nových zákonov 179

doc. Ing. Miloš Cimbálník, DrSc., doc. Ing. Jan Kostelecký, CSc.
Globální, kontinentální a národní geodetické referenční systémy — cesty ČSFR do Evropy 180

Ing. Leoš Mervart
Mezinárodní služba GPS pro geodynamiku . . . 189

doc. Ing. Miloš Pick, DrSc.
K otázce transformací trigonometrických sítí . . 192

Ing. Alojz Kopáčik, CSc.
Dynamické meracie systémy v inžinierskej geodézii 196

OSOBNÍ ZPRÁVY 200

MAPY, ATLASY 200

528.235/.236

CIMBÁLNÍK, M.—KOSTELECKÝ, J.

Globální, kontinentální a národní geodetické referenční systémy — cesty ČSFR do Evropy

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, č. 9, str. 180—189, lit. 43

Současný stav určování polohy bodu v prostoru. Stav ve světě, zejména v Evropě, klasické trigonometrické sítě a sítě kontinentální. Současné souřadnicové referenční systémy. Možnosti společného zpracování družicových a terestrických sítí — ED 87, nový ETRF-89. Od RETrig po EUREF — vývoj a současný stav v Západní Evropě. Cesty ČSFR do Evropy: spojení terestrické (AGS), spojení kosmické (EUREF-EAST, CS-NULRAD-92).

528.344:629.783 GPS: 551.2

MERVART, L.

Mezinárodní služba GPS pro geodynamiku

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, č. 9, str. 189—192, 1 obr., lit. 1

Základní informace o vzniku a současném stavu mezinárodní služby GPS pro geodynamiku. Hlavní aktivity IGS v r. 1992 a instituce, které se na nich podílejí.

528.063.1+528.33

PICK, M.

K otázce transformací trigonometrických sítí

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, č. 9, str. 192—195, 1 obr., 6 tab., lit. 5

Konformní transformace rovinných souřadnic různých souřadnicových systémů. Software pro personální počítače typu PP 06. Numerické příklady.

528.02:528.48

KOPÁČIK, A.

Dynamické meracie systémy v inžinierskej geodézii

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, č. 9, str. 196—200, 7 obr., lit. 7

Automatizované dynamické meracie systémy. Súčasný stav a úroveň ich rozvoja. Prototypy a sériovo vyrábané systémy, možnosti ich aplikácie.

528.235/.236

CIMBÁLNÍK, M.—KOSTELECKÝ, J.

Global, Continental and National Geodetic Reference Systems—Ways of the ČSFR to Europe

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pp. 180—189, ref. 43

Present state of spatial determination of points. General state over the world, especially in Europe, classical trigonometric nets and continental nets. Present coordinate reference systems. Possible common evaluation of satellite and terrestrial nets—ED 87 and the new ETRF-89. From RETrig to EUREF—development and present state in Western Europe. The ways of the ČSFR to Europe: terrestrial connection (AGS), space connection (EUREF-EAST, CS-NULRAD-92).

528.344:629.783 GPS: 551.2

MERVART, L.

International GPS Service to Geodynamics

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pp. 189—192, 1 fig., ref. 1

Basic data on creation and present state of the International GPS Service to Geodynamics. Main activities of the IGS in 1992 and participating institutions.

528.063.1+528.33

PICK, M.

To Transformation of Trigonometric Nets

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pp. 192—195, 1 fig., 6 tab., ref. 5

Conformal transformation of planar coordinates of different coordinate systems. Software to PP 06 personal computers. Numerical examples.

528.02:528.48

KOPÁČIK, A.

Dynamic Systems of Measurement in Engineering Geodesy

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pp. 196—200, 7 fig., ref. 7

Automated dynamic measuring systems. Present state and level of its development. Prototypes and systems produced in series, their possible applications.

528.235/.236

CIMBÁLNÍK, M.—KOSTELECKÝ, J.

Systèmes de référence géodésiques globaux, continentaux et nationaux — voie de l'Europe suivie par la ČSFR

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pages 180—189, 43 bibliographies

Détermination actuelle de la situation d'un point dans l'espace. Situation mondiale, surtout en Europe, réseaux trigonométriques classiques et réseaux continentaux. Systèmes de référence des coordonnées à l'état actuel. Possibilités de traitement commun des réseaux satellitaires et terrestres — ED 87, le nouveau ETRF-89. A partir du RETrig jusqu'à EUREF — évolution et situation actuelle en Europe de l'Est. Les voies de l'Europe suivies par la ČSFR: liaison terrestre (AGS), liaison cosmique (EUREF-EAST, CS-NULRAD-92).

528.344:629.783 GPS: 551.2

MERVART, L.

Service international GPS pour la dynamique géodésique

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pages 189—192, 1 illustration, 1 bibliographie

Informations élémentaires sur l'origine et l'état actuel du service international GPS pour la dynamique géodésique. Principales activités du IGS en 1992 et institutions coopérantes.

528.063.1+528.33

PICK, M.

De la question des transformations de réseaux trigonométriques

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pages 192—195, 1 illustration, 6 planches, 5 bibliographies

Transformation conforme des coordonnées planes dans différents systèmes de coordonnées. Software pour PC du type PP 06. Exemples numériques.

528.02:528.48

KOPÁČIK, A.

Systèmes de mesurage dynamiques utilisés dans la pratique de la géodésie de génie

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, No 9, pages 196—200, 7 illustrations, 7 bibliographies

Systèmes de mesurage dynamique automatisés. Etat actuel et niveau d'évolution. Prototypes et systèmes réalisés en série, possibilités d'application.

528.235/.236

CIMBÁLNÍK, M.—KOSTELECKÝ, J.

Globale, kontinentale und nationale geodätische Bezugssysteme — Wege der ČSFR nach Europa

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, Nr. 9, Seite 180—189, Lit. 43

Aktueller Stand des Bestimmung der Punktlage im Raum. Stand in der Welt, besonders in Europa, klassische trigonometrische Netze und kontinentale Netze. Gegenwärtige Koordinatenbezugssysteme. Möglichkeiten der gemeinsamen Bearbeitung satellitengeodätischer und terrestrischer Netze — ED 87, das neue ETRF-89. Vom RETrig bis EUREF — Entwicklung und aktueller Stand in Westeuropa. Wege der ČSFR nach Europa: terrestrische Verbindung (AGN), kosmische Verbindung (EUREF-EAST, CS-NULRAD-92).

528.344:629.783 GPS: 551.2

MERVART, L.

Internationaler GPS-Dienst für die Geodynamik

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, Nr. 9, Seite 189—192, 1 Abb., Lit. 1

Grundinformation über die Entwicklung und den aktuellen Stand des internationalen GPS-Dienstes für die Geodynamik. Hauptaktivitäten des IGD im Jahre 1992 und Institutionen, die an ihnen teilnehmen.

528.063.1+528.33

PICK, M.

Zur Frage der Transformation trigonometrischer Netze

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, Nr. 9, Seite 192—195, 1 Abb., 6 Tab., Lit. 5

Winkeltreue Transformation horizontaler Koordinaten verschiedener Koordinatensysteme. Software für die Personalrechner des Typs PP 06. Numerische Beispiele.

528.02:528.48

KOPÁČIK, A.

Dynamische Messsysteme in der Ingenieurgeodäsie

Geodetický a kartografický obzor, **38**, 1992, Nr. 9, Seite 196—200, 7 Abb., Lit. 7

Automatisierte dynamische Messsysteme. Aktueller Stand und Niveau ihrer Entwicklung. Prototypen und serienmässig erzeugte Systeme, Möglichkeiten ihrer Anwendung.

528.235/.236

ЦИМБАЛЬНИК, М.—КОСТЕЛЕЦКИ, Я.

Глобальные, континентальные и национальные геодезические исходные системы-основные направления ЧСФР на пути к Европе

Геодезический и картографический обзор, **38**, 1992, № 9, стр. 180—189, лит. 43

Современный способ определения положения точки в пространстве. Международный способ с упором на европейский, классические тригонометрические сети и сети континентальные. Современные координатные исходные системы. Возможности совместной обработки спутниковых и наземных сетей: ED 87, новой ETRF-89. От RETrig до EUREF, -развитие и современное состояние в Западной Европе. Пути ЧСФР в Европу: увязка наземная (AGS), увязка космическая (EUREF-EAST, CS-NULRAD-92).

528.344:629.783 GPS:551.2

МЕРВАРТ, Л.

Международная служба ГПС для геодинамики

Геодезический и картографический обзор, **38**, 1992, № 9, стр. 189—192, 1 рис., лит. 1

Основная информация об основании и современном состоянии международной службы ГПС для геодинамики. Основная активная деятельность МГС в 1992 г. и организации, которые приняли в ней участие.

528.063.1+528.33

ПИК, М.

К вопросу преобразования тригонометрических сетей

Геодезический и картографический обзор, **38**, 1992, № 9, стр. 192—195, 1 рис., 6 таб., лит. 5

Конформные преобразования плоских координат разных координатных систем. Программное обеспечение для персональных ВМ типа PP-06. Примеры в цифровой форме.

528.02:528.48

КОПАЧИК, А.

Динамические измерительные системы в инженерной геодезии

Географический и картографический обзор, **38**, 1992, № 9, стр. 196—200, 7 рис., лит. 7.

Автоматизированные динамические измерительные системы. Современное состояние и уровень их развития. Опытные образцы и серийно изготовливаемые системы, возможности их применения.

Príprava rezortu SÚGK na účinnosť nových zákonov

528:347(437.6)

Vychádzajúc zo skutočností, že zákon o zápisoch vlastníckych a iných vecných práv k nehnuteľnostiam i zákon Slovenskej národnej rady (SNR) o katastri nehnuteľností v Slovenskej republike — SR (ďalej len zákony) boli schválené, v prvom prípade vo Federálnom zhromaždení dňa 28. apríla 1992, v druhom prípade v SNR dňa 25. marca 1992 a ich účinnosť je od 1. januára 1993, nachádzame sa t.č. v medziobdobí príprav nadväzných legislatívnych, organizačno-technických i personálnych zabezpečovacích procesov v záujme čo najplynulejšej realizácie prechodu na účinnosť citovaných právnych noriem v rezorte Slovenského úradu geodézie a kartografie (SÚGK — obdobne i v rezorte Českého úřadu geodetického a kartografického).

Ak voľne nadviažeme na článok Ing. B. Kubu „Dlouhá cesta k novým zákonům", Geodetický a kartografický obzor, 1992, č. 7, s. 135—136, poukážeme v tomto príspevku na niektoré z najdôležitejších úloh, ktoré na SÚGK a na jeho ďalšie rozpočtové organizácie čakajú do konca tohto roka v uvedených súvislostiach.

Na úseku legislatívy treba predovšetkým dopracovať návrh paragrafovaného znenia vykonávacej vyhlášky k zákonom a zabezpečiť jej schvaľovacie konanie tak, aby jej konečné znenie bolo schválené podľa možnosti aspoň dva mesiace pred koncom tohto roku. V uvedenej súvislosti treba podotknúť, že súčasne so schválením katastrálneho zákona odporúčala SNR, aby namiesto navrhnutných 15 katastrálnych úradov (KÚ) sa uvažovalo vo vyhláške s územnou pôsobnosťou jednotlivých KÚ podľa dnešných okresov (38). Vzhľadom na dotváranie sa novej štruktúry územného a správneho členenia SR, je snahou SÚGK prispôsobiť túto časť vyhlášky k územnému členeniu republiky, pokiaľ toto bude do prijateľného termínu doriešené.

Nadväzne na obsah vyhlášky pripravuje SÚGK novelizáciu celého komplexu technických predpisov súvisiacich s činnosťou budúceho katastra nehnuteľností, ktorá spočíva okrem ich nevyhnutnej obsahovej inovácie i v racionálnej agregácii. Vzhľadom na potrebu rešpektovania obsahovej väzby technických predpisov na konečné znenie spomenutej vyhlášky, budú pravdepodobne termíny ich vydávania prekračovať časovú hranicu 1. januára 1993.

Spomedzi organizačno-technických zabezpečení treba spomenúť predovšetkým delimitačné procesy, a to v rámcovom delení na delimitácie medzi rezortom Ministerstva spravodlivosti (MS) SR a rezortom SÚGK a ďalej na delimitácie medzi dnešnými právnymi subjektmi — krajskými správami geodézie a kartografie (KSGK) a budúcimi KÚ.

V prvom prípade ide o delimitáciu činnosti pozemkových kníh a časti činnosti štátnych notárstiev v modifikovanej podobe, vrátane príslušného počtu pracovníkov z rozpočtu kapitoly MS SR do rozpočtu kapitoly SÚGK. V rámci toho predložili obidva rezorty Ministerstvu financií SR vzájomne odsúhlasené:

- *plánované počty delimitovaných pracovníkov pozemkových kníh vrátane archivárov a alikvôtnej časti riadiaceho a správneho aparátu a tomu prislúchajúci objem mzdových prostriedkov,*
- *kvantifikácie finančných dopadov vyplývajúcich z predmetnej delimitácie na rozpočtové kapitoly MS SR a SÚGK na rok 1993,*
- *kvantifikáciu finančných dopadov vyplývajúcich z odštátnenia štátnych notárstiev, členenú na objem mzdových prostriedkov, ostatných neinvestičných prostriedkov a investičných prostriedkov zodpovedajúcich potrebe prijatia 91 právnikov KÚ*

a do konca roka 1992 vzájomne odsúhlasia a zrealizujú delimitáciu:

- *alikvotnej časti fondu kultúrnych a sociálnych potrieb (FKSP) a osobitných fondov,*
- *hospodárskych prostriedkov v členení na základné prostriedky (ZP), drobné krátkodobé predmety (DKP), material a predmety vedené v operatívno-technickej evidencii,*
- *operátu pozemkovej knihy a železničnej knihy (pozemkovoknižné vložky, pozemkovoknižné zápisnice, mapové podklady, register vlastníkov, parcelový register, zbierka listín a archív pozemkovej knihy),*
- *nevybavených objednávok z pozemkovoknižných fondov a nevybavenej registračnej agendy.*

Na zabezpečenie uvedených úloh sa zriadili:

- *ústredná delimitačná komisia na úrovni MS SR a SÚGK a*
- *čiastkové delimitačné komisie na úrovni okresných súdov a KSGK — stredísk geodézie (SG) v okresoch.*

V súvislosti s realizáciou delimitácie a s bezproblémovým uplatnením zákona o katastri nehnuteľností v SR predložil SÚGK vláde SR tiež požiadavku na krytie výdavkov spojených s prijatím právnikov na mesiac december 1992, na zabezpečenie prípravy plynulého prechodu funkcií súvisiacich s vkladom právnych vzťahov k nehnuteľnostiam na KÚ k 1. januáru 1993 a na zvýšenie neinvestičných výdavkov z titulu uplatnenia zákona nad rámec delimitácie medzi MS SR a SÚGK. Táto požiadavka dosiaľ nebola akceptovaná z dôvodu obmedzených možností štátneho rozpočtu SR na tento rok.

Pri vnútrorezortných delimitáciach pôjde o rozčlenenie a zaradenie do konkrétnych KÚ, resp. do Geodetického a kartografického ústavu Bratislava:

- *pracovísk doterajších SG v okresoch, vykonávajúcich činnosť na úseku evidencie nehnuteľností,*
- *pracovísk obnovy mapového fondu (základná mapa veľkej mierky, fotogrametria, reprodukcia, . . .),*

— *pracovníkov s príslušnými mzdovými a ďalšími neinvestičnými prostriedkami, vrátane alikvotnej časti FKSP a osobitných fondov,*
— *hospodárskych prostriedkov (ZP, DKP, material, ...).*

S cieľom prípravy a realizácie týchto delimitácií sa zriaďujú:
— *rezortná riadiaca skupina, ktorá bude metodicky riadiť prípravu a priebeh delimitácie, usmerňovať činnosť delimitačných komisií a riešiť prípadné spory vzniknuté počas delimitácie,*
— *delimitačné komisie pre jednotlivé novozriaďované KÚ, ktoré pripravia konkrétne podklady na delimitáciu všetkých vyššie uvedených kategórií.*

V oblasti personálneho zabezpečenia KÚ pôjde nad rámec vyššie uvedených úloh predovšetkým o:
— *výber a následné vymenovanie prednostov KÚ (pri výbere sa predpokladá konkurzné konanie),*
— *prijímanie právnikov na pracoviská v sídlach okresov a na detašované pracoviská (vzhľadom na potrebu 91 právnikov bude táto úloha osobitne obťažná),*
— *prerokovanie so všetkými pracovníkmi KSGK ich právnej a ekonomickej účasti pri transformácii na KÚ,*
— *zorganizovanie potrebných školení a rekvalifikácií pre jednotlivé činnosti na pracoviskách rezortu SÚGK podľa zákona SNR o katastri nehnuteľností v SR.*

Všetky uvedené i ďalšie podrobnejšie úlohy súvisiace s prípravou rezortu SÚGK na účinnosť zákona SNR o katastri nehnuteľností v SR sú zapracované v dokumentoch **Súbor rozhodujúcich úloh realizácie projektu KÚ rezortu SÚGK**, *prijatých poradou riaditeľov rozpočtových organizácií rezortu SÚGK dňa 30. januára 1992 a* **Organizačné, personálne, technické a finančné opatrenia súvisiace s vytvorením KÚ s prevzatím pozemkových kníh** *schválené vládou SR dňa 3. júna 1992.*

Ing. Ivan Ištvánffy,
Slovenský úrad geodézie a kartografie

Globální, kontinentální a národní geodetické referenční systémy — cesty ČSFR do Evropy

doc. Ing. Miloš Cimbálník, DrSc.,
katedra vyšší geodézie FSv ČVUT v Praze
doc. Ing. Jan Kostelecký, CSc.,
Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Zdiby

528.235/.236

1. Úvod

Geodetická odborná veřejnost byla po delší dobu poměrně málo informována o geodetických základech, geodetických systémech a o vývoji těchto disciplin v ČSFR, ale i v Západní Evropě a ve světě vůbec. Mohlo by tedy dojít velmi snadno k nedorozumění při snahách co nejdříve vyplnit mezeru, vzniklou v důsledku pro nás nepříznivého vývoje po 2. světové válce.

Proto volili autoři tuto formu informace o současném stavu a metodice určování polohy bodu v prostoru, o souřadnicových systémech a o vývoji v Evropě, který se nás bezprostředně dotýká. Proto také jsou do článku zařazeny stručné informace o symposiích a jednáních, která proběhla v posledních 2 letech, aby byl zachycen historický okamžik našeho zapojování do kulturní Evropy a to právě v době, kdy dochází ke vskutku revolučnímu převratu v možnostech, které moderní geodézie pro toto zapojení poskytuje.

Poměrně obsáhlý seznam literatury na konci tohoto článku by měl inspirovat čtenáře k dalšímu studiu, a zejména mladé autory k dalším sdělením o nových zkušenostech při konfrontaci s moderní technikou.

2. Přehled o současném stavu určování polohy bodu v prostoru

2.1 Úvodní poznámky

Rozvoj geodézie byl až do nedávna brzděn zejména skutečností, že realizace národních, případně kontinentálních projektů trvala desítky let a jejich inspirátoři se mnohdy nedožili ani konečného zpracování výsledků a tím méně jejich zhodnocení. V současném období se však celosvětový rozvoj urychlil natolik, že realizace globálních, případně kontinentálních projektů předstihuje často realizaci důsledků těchto projektů pro sítě lokální — v tomto smyslu tedy pro sítě národní.

Pokusíme se stručně zachytit současný stav a perspektivy celosvětové v epoše konce 80. a začátku 90. let, zejména s ohledem na vývoj v Evropě a současné nové možnosti, které se rozvíjejí po politických změnách na tomto kontinentě.

2.2 Současný stav ve světě, zejména v Evropě

Základní polohová bodová pole jsou dnes chápána a posuzována z více hledisek než ještě v nedávné minulosti. Stále se zvyšující přesnost geodetických měření všeho druhu nevystačí s dosavadními definicemi: lokální problémy se vždy řeší v širších souvislostech, polohová přesnost úzce souvisí s přesností výšek a tyto opět narážejí na specifické problémy fyzikální geodézie — a to vše dohromady souvisí s definicí polohy bodu v prostoru vůbec.

Pryč je doba klasických trigonometrických sítí založených na triangulaci, určující tvar sítí plošných nebo řetězců, jejichž rozměr byl určován několika geodetickými základnami a orientace několika Laplaceovými azimuty. Taková síť byla zpravidla umístěna na ploše referenčního elipsoidu, přičemž geodetické souřadnice

(B, L) byly rovny astronomicky naměřeným (φ, λ) (opraveným o ξ, η) v tzv. referenčním bodě sítě, jehož výška (nivelovaná!) nad geoidem byla přijata za výchozí (elipsoidickou) výšku systému. Způsoby zpracování těchto sítí byly různé a jejich výsledkem byly národní či mezinárodní souřadnicové systémy, z nichž nejznámější jsou ED 50 (European Datum 1950), ED 79, NAD 27 (North American Datum 1927), NAD 83, S-42 (souřadnicový systém 1942), S-42/83 a lokální československý S-JTSK, jehož specifický vývoj byl vícekrát popsán, např. v [7 a 11].

Zcela nové možnosti vznikly pro světovou i národní geodézii v letech šedesátých v důsledku rozvoje vědy a techniky. Byly to zejména:

— elektronické měření délek,
— počítače,
— družicová geodézie.

Bylo náhle možno změřit přímo velké množství délek mezi body sítě, bylo možno systémy orientovat vzhledem ke Geocentru (těžišti Země) a vyloučit značnou část systematických chyb, a to vše bylo možno řešit ve velkých celcích prakticky bez omezení.

Po dlouhou dobu existovala umělá hranice mezi fyzikální a geometrickou geodézií, která se dále dělila na složku horizontální a vertikální. Na začátku sedmdesátých let se široce rozvinuly teoretické práce v oboru třírozměrné a tzv. integrované geodézie, které vyústily ve snahy o praktické aplikace. Nemělo to však vliv na národní, případně kontinentální sítě, už z toho praktického důvodu, že triangulační a nivelační stabilizace nebyly vesměs totožné a také zčásti z tradice, neboť praktici se, mírně řečeno, zdráhali myslet v třírozměrném prostoru.

Zásadní průlom nastal teprve s nástupem GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM). S nebývalou přesností a velkou operativností bylo náhle možno určit relativní polohy bodů, a to přímo rozdíly pravoúhlých prostorových souřadnic. V téže epoše byly vyvinuty další metody kosmické geodézie, jmenovitě SLR (SATELLITE LASER RANGING) a VLBI (VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY).

Pomocí VLBI lze dosáhnout relativní přesnosti v délce až 0,01 ppm (1 : 100 000 000) a GPS dává běžně přesnost 1 ppm (1 : 1 000 000), což umožňuje zcela nové struktury sítí: pomocí opakovaných měření lze např. objektivně sledovat dynamiku zemské kůry!

2.3 Klasické trigonometrické sítě a sítě kontinentální

Do rozvoje klasických trigonometrických sítí zasáhly zejména dva nové technické prostředky: počítače a dálkoměry.

Počítače umožnily vyrovnat společně rozsáhlé sítě národní i kontinentální. Samo společné vyrovnání (bez dalšího měření) zvýšilo přesnost sítí a odstranilo zejména nehomogenity na rozhraní dřívějších menších bloků.

Ještě významněji zasáhly do přesnosti sítí nové dálkoměry. Z literatury [1] je zpravidla citován příklad sítě 1. řádu, OSGB 36 (Velká Británie), ve které byly zjištěny chyby v délkách až 50 mm/km, oproti OSGB 70, kde se z kovariančních analýz odhadují chyby cca 2,5 mm/km. Uvádíme úmyslně příklad z literatury (a bylo by možno uvést jich více), aby bylo zřejmé, že starší triangulace nejen u nás ale obecně mají nepřesné určení rozměru, což značně vadí při používání přesných dálkoměrů a prakticky zcela znemožňuje např. seriózní odvozování horizontálních recentních pohybů. Proto jsou (až na výjimky) trigonometrické sítě systematicky modernizovány.

Při vyrovnání rozsáhlých kontinentálních sítí se dnes téměř výhradně používá Helmert-Wolfův způsob rozdělení sítě na bloky, samostatné řešení bloků a konečné řešení tzv. spojovacích rovnic. Této metody bylo použito také v Západní Evropě (viz dále) a také např. v USA pro tzv. NAD 83 (náhrada za zastaralý NAD 27), obsahující cca 270 000 stanic, 1 800 000 pozorování a vedoucí k řešení 900 000 (!) normálních rovnic.

2.4 Současné souřadnicové referenční systémy

Většinou byly až dosud užívány klasické horizontální referenční systémy, při kterých bylo u národních nebo kontinentálních sítí zapotřebí definovat referenční elipsoid (2 parametry, zpravidla a, f), jeho umístění v prostoru (2 parametry) a poloha počátku (tzv. referenčního bodu) vůči centru elipsoidu (3 parametry) a nulový poledník (1 parametr).

Byly používány různé elipsoidy, ze známějších např. Clarke (1866), jehož rozměry v metrech byly získány výpočtem z rozměrů ve stopách (!) a na kterém byl zpracován např. NAD 27. Evropa tradičně, (až na výjimky, např. Francie a Velká Británie — Clarke 1880) počítala na Besselově elipsoidu (tedy také čs. S-JTSK), avšak západoevropská síť po 2. světové válce, tj. ED 50 a novější ED 79 a ED 87, byly počítány na tzv. mezinárodním elipsoidu (Hayford); země bývalé Varšavské smlouvy měly známý S-1942, počítaný na Krasovského elipsoidu (dnes S-1942/83, který dosud nebyl zaveden do praxe).

Zcela nově byl definován a na zasedání International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) v r. 1979 jako oficiální přijat tzv. GEODETIC REFERENCE SYSTEM 1980 (GRS-80), na kterém byl zatím zpracován jediný systém a to severoamerický NAD 83 — více o elipsoidech, zejména o GRS-80 viz [8, 9].

Jak je však známo, není volba referenčního elipsoidu rozhodující při definici souřadnicového systému, nýbrž je to určení polohy a orientace počátečního bodu systému. V klasické geodézii se měřily astronomické hodnoty v referenčním bodě, zatímco výška bodu nad elipsoidem byla součtem výšky geoidu nad elipsoidem a výšky bodu nad geoidem; tak byl (velmi zhruba řečeno) definován počátek, a výšky dalších bodů byly získány nivelací. (Výjimkou je zatím NAD 83, který byl jako první definován jakožto geocentrický národní referenční systém).

Při klasické geometrické geodézii jsou všechny měřené veličiny redukovány na plochu referenčního elipsoidu a na ní počítány ve formě dvourozměrných horizontálních souřadnic (označuje se jako „2-d"). Klasičtí geodeti, včetně Helmerta, si byli velmi dobře vědomi toho, že geodézie (tzn. vyšší geodézie) se v zásadě může obejít bez referenčního elipsoidu a že všechny výpočty lze snadno realizovat v třírozměrném kartézském souřadnicovém systému. Avšak praktické důvody (podrobněji viz speciální publikace) vedly geodety k použití referenčního elipsoidu a k výpočtům typu „2-d".

Teprve kosmická geodézie umožnila praktické použití „3-d" kartézského systému, protože výsledky metod

kosmické geodézie jsou vztaženy ke Geocentru a orientovány k „CIO" pólu. (Tak byl odvozen NAD 83).

Výpočty a vyrovnání geodetických měření v 3-d geocentrickém systému jsou dnes již teoreticky i prakticky propracovány. Užívá se buď geocentrických rovnic oprav nebo jejich elegantnějšího ekvivalentu, tzv. lokálního horizontálního systému. Obojí výsledky jsou shodné, jde-li o čistě geometrické vyrovnání.

Vyrovnání můžeme též zobecnit a kombinovat tzv. geometrická měření s fyzikálními geodetickými veličinami. Zvětší se počet neznámých pro jeden bod ze tří geometrických veličin (dX, dY, dZ) na 7, tj. o tížnicové odchylky (ξ, η), korekce k absolutnímu tíhovému potenciálu (dW) a tíži (g). Toto je, velmi zhruba řečeno, podstata tzv. integrované geodézie propracované v poslední době mnoha autory.

Numerické testy však ukázaly, že poměrně složité postupy integrované geodézie přinesly prakticky stejné výsledky jako podstatně snadnější 3-d geometrické postupy a nebo dokonce klasické 2-d metody.

Předpokládá se tedy, že pokud jde o stávající národní souřadnicové systémy, budou v poměrně blízké budoucnosti změněny většinou pouze jejich základní orientační prvky a uvedeny tak v soulad s celosvětovým geodetickým systémem.

2.5 Družicová geodézie a nové pojetí geodetických základů

Global Positioning System (GPS) je již z literatury dostatečně znám — viz např. [4, 5, 13, 14, 17, 19, 21, 33, 36, 37, 43]. Dodáváme pouze, že začátkem devadesátých let bude systém kompletní, tj. kolem Země bude létat 21 družic (18 + 3 reservní), a bude možno v každém okamžiku a kdekoliv na Zemi zaměřit relativní polohu mezi dvěma body s dosud nedosažitelnou přesností.

V literatuře se všeobecně uvádí, že při vzdálenostech větších než 50 km se dosahuje přesnosti 0,5—1,0 ppm. Tyto výsledky a zejména prognózy pro nejbližší léta vedly v nedávné minulosti k nebezpečnému euforickému tvrzení, že trigonometrické sítě nebudou vůbec zapotřebí. Dnešní vystřízlivění vedlo všeobecně k realistickému pohledu, který lze (prozatím) shrnout do dvou bodů — viz též [3]:

1. Měření, využívající místo klasické sítě jednotlivých nezávislých podrobných bodů, je zatím možné pouze za určitých okolností.
2. Trigonometrické sítě zatím ze scény nezmizí!

Přirozeně nebude účelné budovat nové klasické trigonometrické sítě na národní nebo kontinentální úrovni. Jak ukazuje např. dopplerovská ADOS Campaign v Africe, je mnohem snazší a ekonomičtější určit relativní polohy řady fundamentálních bodů pomocí Transit-Doppler (už prakticky zaniká) nebo GPS (to je metoda nejbližší budoucnosti).

Je tedy zřejmé, že pro současné základy budou výsledky mezinárodních kampaní GPS využity zejména k určení polohy a orientace a také měřítka souřadnicových referenčních systémů — to vše na úrovni národní nebo kontinentální. Opakování měření těchto fundamentálních, případně dalších bodů mohou rovněž (za určitých okolností) sloužit ke sledování recentních pohybů zemské kůry a dalším podobným účelům.

Výsledky GPS však nejsou omezeny pouze na horizontální složku. Ostatně primární výsledky GPS jsou v 3-d formě, tj. hodnoty dX, dY, dZ. Tyto veličiny mohou být transformovány na dB, dL, ale také na dH s tím, že vzhledem k počátku GPS, tj. Geocentru, obsahují tyto hodnoty dH jak výšky nad geoidem (h) tak výšku geoidu nad elipsoidem (ζ), orientovaným tak, že jeho střed je totožný s Geocentrem.

Tím se dostáváme k zatím nejméně přesné hodnotě a tou je převýšení ζ geoidu nad elipsoidem. V současné době je toto převýšení v geodeticky vyspělých zemích známo s přesností několika decimetrů. Aby bylo možno plně využít výsledků GPS také ve vertikální složce, bude zapotřebí znát geoid s centimetrovou přesností. Podle dosud známých výsledků z oblastí pokrytých hustou sítí přesných gravimetrických bodů, je dosažení centimetrové přesnosti možné. V současné době by to bylo možné v některých oblastech Evropy a Severní Ameriky.

2.6 Možnosti společného zpracování družicových a terestrických sítí — systém ED 87

Vedle GPS byly vyvinuty ještě další kosmické metody použitelné pro přesné geodetické polohové a výškové sítě. Jde o známé metody VLBI a SLR. Obě tyto metody jsou již dnes schopny např. sledovat pohyb pólu a rotaci Země s přesností nejméně o řád vyšší než dosavadní klasické astronomické metody — viz např. [39]. Očekává se, že obě metody rozhodujícím způsobem přispějí k definici nového CTRS (Coventional Terrestrial Reference System), který pak bude závazně přijat v souvislosti s novým CCRS (Conventional Celestial Reference System).

Obě tyto metody zatím nelze bezprostředně využít pro zaměřování polohy jednotlivých bodů národních nebo kontinentálních sítí. Byly však realizovány některé univerzální projekty (viz [3, 37]), jejichž cílem je především sledování dynamiky zemského povrchu. Pokud zůstaneme v Evropě, je zde známý mezinárodní projekt GINFEST (Geodetic Intercomparison Network For Evaluating Space Techniques), na němž se podílejí Velká Británie, Holandsko, SRN, Francie, Belgie a Rakousko. Vedle dynamiky zemského povrchu má tento projekt sloužit také ke zpřesnění ED v rámci komise RETrig (viz. dále).

Výpočetní modely pro společné zpracování družicových a terestrických sítí byly zpracovány a publikovány na začátku 80. let. Z nich patrně nejelegantnější a s nejbohatšími možnostmi aplikací je model Vincentyho [38], který může být aplikován jak ve 2-d tak v 3-d souřadnicovém systému.

V případě 2-d jsou vstupními daty terestrická pozorování (úhly, délky, azimuty), redukovaná na místní nebo geocentrický referenční elipsoid, a dále z kosmu získaná pozorování (např. Transit, GPS, SLR, VLBI), vyjádřená buď v absolutních (X, Y, Z) nebo relativních (ΔX, ΔY, ΔZ) geocentrických kartézských souřadnicích. Neznámé při 2-d řešení jsou (B, L) u všech bodů a H (převýšení nad referenčním elipsoidem) pouze u bodů s družicovými observacemi. Dále bude mít každý „družicový bod" všechny nebo jen některé ze 7 neznámých Helmertových transformačních parametrů k redukci pozorování na přijatý referenční elipsoid. Zde nastanou

vždy hlavní nesnáze a nepříjemnosti, protože vztahy mezi těmito parametry musíme modelovat s uvážením všech systematických a jiných rozdílů mezi terestrickými a družicovými pozorováními. Abychom se vyhnuli pravděpodobné labilitě při řešení velkého systému rovnic, snažíme se určit některé parametry (měřítko, polohu a orientaci) pomocí jiných prostředků během výpočtu. Elegance zmíněného Vincentyho řešení spočívá mj. v tom, že se toto — do značné míry subjektivní — hodnocení, mající povahu „velitelského rozhodnutí" činí až téměř na konci výpočtů.

Jako konkrétní příklad společného vyrovnání terestrických a družicových sítí uveďme západoevropský systém ED 87, spojující v jedno řešení sítě Skandinávských států, Německa, V. Británie a Irska, Francie, Beneluxu, Španělska, Portugalska, Itálie, Švýcarska, Rakouska a Řecka — viz [32].

Primárními daty byly výsledky „klasických" měření v trigonometrické síti: směry, délky (stran i základen) a azimuty, redukované příslušnými redukcemi na Hayfordův elipsoid. Pro určení elipsoidických výšek byl použit globální geoid Levalloisův.

Pro řešení byly stanoveny následující zásady:

a) síť bude vyrovnána na mezinárodním Hayfordově elipsoidu,

b) přibližné hodnoty odhadovaných parametrů (souřadnic bodů) budou převzaty z řešení ED 79,

c) výchozím bodem — bodem umístění elipsoidu — bude nadále bod Frauenkirche v Mnichově — nepředpokládá se tedy zatím přechod ke geocentrickému referenčnímu systému,

d) orientace a rozměr sítě budou odvozeny z družicových dat — z toho vyplývá, že pro každý národní systém bude určována oprava v orientaci sítě a oprava z měřítka sítě,

e) závěrečnou etapou řešení bude zjištění transformačních parametrů (7 prvků) systému ED 87 vůči geocentrickému systému BTS-87 (viz dále).

Celá rozsáhlá soustava normálních rovnic byla v prvé fázi řešena Helmertovou blokovou metodou, což umožnilo provést řešení každého národního systému izolovaně a v hraničních zónách definovat tzv. „buffer" matici spojovacích rovnic — z hlediska klasifikace jde zatím stále o řešení 2-d.

V konečné fázi byly tyto bloky spojeny v jedno řešení spolu s přidanými rovnicemi z družicových pozorování — řešení 2-d/3-d. Z družicových pozorování je to geocentrický konvenční systém BTS-87 (BTS = BIH terrestrial system, BIH byla do r. 1989 mezinárodní služba pro určování parametrů rotace Země; v současné době se tomuto systému říká ITRF — více o tom v odst. 3.2), relativní rozdíly souřadnic ΔX, ΔY, ΔZ, získané z dopplerovských kampaní EDOC-2, RETDOC a dalších v systému NNSS-TRANSIT, geocentrické souřadnice stanic, sledujících družici LAGEOS, respektive mobilní VLBI, a souř. rozdíly ΔX, ΔY, ΔZ získané pomocí pozorování družic (zatím jen přístroje Macrometer) v systému GPS-NAVSTAR. K dispozici jsou i odpovídající kovarianční matice a tak je do značné míry zachována i korektnost vyrovnání.

Přesnost „absolutních" geocentrických souřadnic se předpokládá kolem 10 cm (vnitřní přesnost je lepší, zhoršení je nutno přičíst obtížím při geodetickém připojení), dopplerovských pozorování asi 20—100 cm a GPS souř. rozdílů 8—25 cm.

Matematicky je možné vyrovnání národních sítí podchytit modelem

$$\mathbf{E}(\mathbf{L}_R) = \mathbf{L}_R^0(\mathbf{B}_T^0, \mathbf{b}^0) + \mathbf{A}\,\delta\mathbf{x}_T + \mathbf{B}\,\delta\mathbf{b}, \qquad (1)$$

kde

$\mathbf{E}(\mathbf{L}_R)$ je vektor vyrovnaných hodnot L_R,

$\mathbf{L}_R^0$ je vektor přibližných hodnot pozorování určený na základě přibližných hodnot $\mathbf{B}_T^0$ (vektor přibližných souřadnic) a $\mathbf{b}^0$ je vektor přibližných hodnot dalších parametrů; $\delta\mathbf{x}_T$ je vektor přírůstků neznámých parametrů, $(\delta B_i, \delta L_i \cos B_i)^T$, δB_i, δL_i jsou přírůstky geodetické šířky a délky na bodě i, $\mathbf{A}$ je matice plánu — parciálních derivací vektoru $\mathbf{L}_R$ jako funkce $\delta\boldsymbol{x}$. Vektor $\delta\mathbf{b}$ se skládá ze dvou složek: opravy měřítka příslušné národní sítě $\delta\boldsymbol{s}$ a opravy orientace (azimutů) jako celek $\delta\boldsymbol{a}$; $\mathbf{B}$ je příslušná matice plánu — parciálních derivací viz též [15]; zde dolní index T značí terestrická data.

Normální rovnice pak mají strukturu příslušející řešení 2-d:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N}_{TT} & \mathbf{N}_{Tb} \\ \mathbf{N}_{bT} & \mathbf{N}_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\boldsymbol{x}_T \\ \delta\boldsymbol{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta\boldsymbol{y}_T \\ \delta\boldsymbol{y}_b \end{bmatrix}, \qquad (2)$$

kde

$\mathbf{N}_{TT} = \mathbf{A}_T\mathbf{C}_L^{-1}\mathbf{A}, \ldots, \mathbf{N}_{bb} = \mathbf{B}^T\mathbf{C}_L^{-1}\mathbf{B}$,

$\delta\boldsymbol{y} = \mathbf{A}^T\mathbf{C}_L^{-1}\delta\mathbf{L}$, $\delta\boldsymbol{y}_b = \mathbf{B}^T\mathbf{C}_L^{-1}\delta\mathbf{L}$,

$\delta\mathbf{L}_R = \mathbf{L}_R - \mathbf{L}_R^0(\mathbf{B}^0, \boldsymbol{b}^0)$.

Odhadnuté parametry pak tvoří vektory

$$\delta\hat{\boldsymbol{x}}_T = (\delta B_1, \delta L_1 \cos B_1, \ldots)^T, \qquad (3)$$

$$\delta\hat{\boldsymbol{b}} = [\delta\boldsymbol{s}^T, \delta\hat{\boldsymbol{a}}^T]^T. \qquad (4)$$

V tomto tvaru však jde o volnou soustavu, jejíž řešení lze získat buď regularizací nebo pseudoinverzí; byla zvolena regularizace — navázání na bod Frauenkirche — viz výše.

Kombinací s „kosmickými" daty se přešlo na řešení 2-d/3-d. Protože bylo rozhodnuto využít z těchto dat pouze „měřítko" a „orientaci", bylo třeba kosmická data transformovat příslušným (tak, aby se nezměnilo měřítko a orientace) způsobem do ED 79 (nultá iterace řešení).

Vektor souřadnic (či souřadnicových rozdílů) „pocházející" z kosmických metod bylo možné rozdělit do 4 skupin:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{X}_{BTS}^T, \mathbf{X}_{DOP}^T, \mathbf{X}_{GPS}^T, \mathbf{X}_{SLR}^T)^T, \qquad (5)$$

kde

$\mathbf{X}_{BTS}$ — jsou souřadnice v geocentrickém referenčním systému,

$\mathbf{X}_{DOP}$ — jsou souřadnice určené z dopplerovských dat,

$\mathbf{X}_{GPS}$ — jsou souřadnice určené pomocí GPS — Macrometer data,

$\mathbf{X}_{SLR}$ — jsou souřadnice získané ze zpracování pozorování družice LAGEOS na bodech, které nejsou součástí BTS; zpravidla šlo o stanice, kde bylo pozorováno mobilními lasery.

Jelikož je souřadnicový systém, ve kterém jsou určovány polohy družic systému TRANSIT (dopplerovská pozorování), vůči systému BTS posunut, pootočen a deformován, bylo třeba nejdříve výsledky dopplerovských pozorování transformovat do systému BTS-87 pomocí sedmiprvkové transformace.

Jak jsme se zmínili výše, bylo rozhodnuto, že vyrovnání nebude provedeno na geocentrickém elipsoidu, ale na Hayfordově elipsoidu umístěném na základním bo-

dě P_0 (Frauenkirche, Mnichov), ale orientace a rozměr se z kosmických metod ponechá. Proto bylo nutno výsledky kosmických metod transformovat do systému ED 79 (který slouží jako přibližné řešení — nultá iretace), a to pouze posunutím!

Pro body určené kosmickými metodami je pak možno sestavit rovnice typu

$$\mathbf{E}(\mathbf{X}_i) = \mathbf{X}_i^0(\mathbf{B}_T^0) + \mathbf{C}\,\delta\boldsymbol{x} + \mathbf{T}\,\delta\varepsilon, \qquad (6)$$

kde $\mathbf{E}\,(\mathbf{X}_i)$ je vektor vyrovnaných hodnot,

$$\delta\boldsymbol{x} = (\delta B_1, \delta L_1 \cos B_1, \delta H_1, \ldots)^T$$

(δH_1 je přírůstek elipsoidické výšky) a

$$\delta\boldsymbol{\varepsilon} = (\delta x_1^0/R^0, \delta y_1^0/R^0, \delta A_1^0, \ldots)^T$$

Vektor $\delta\boldsymbol{\varepsilon}$ obsahuje korekce (posuny a pootočení) počátečního bodu P_0 v tečné rovině (R^0 je střední poloměr Země), δx^0 složka na sever, δy^0 na východ. Tyto veličiny tedy reprezentují posun a pootočení (po elipsoidu) sítě jako celku do systému BTS-87, získaného z kosmických metod, se zachováním „negeocentricity" nové vyrovnané sítě.

C a **T** jsou příslušné matice plánu. Na základě rovnic oprav, příslušejících rovnici (6), je pak možné psát soustavu rovnic obdobnou rovnici (2).

Spojením „klasických" a „kosmických" výsledků dostaneme následující systém normálních rovnic

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N}_{TT} + \mathbf{N}_{xx} & \mathbf{N}_{Tb} & \mathbf{N}_{x\varepsilon} \\ \mathbf{N}_{Tb}^T & \mathbf{N}_{bb} & \mathbf{0} \\ \mathbf{N}_{x\varepsilon}^T & \mathbf{0} & \mathbf{N}_{\varepsilon\varepsilon} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\boldsymbol{x} \\ \delta\boldsymbol{b} \\ \delta\boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta\boldsymbol{y}_T + \delta\boldsymbol{y}_x \\ \delta\boldsymbol{y}_b \\ \delta\boldsymbol{y}_\varepsilon \end{bmatrix}, \qquad (7)$$

kde $\mathbf{N}_{xx}$ přísluší bodům s údaji z kosmických metod. Vektor $\delta\boldsymbol{x}$ tedy pak obsahuje pro body, zaměřené klasicky, pouze dvě složky δB_i, δL_i, pro body, zaměřené kosmickými metodami, přistupují ještě opravy elipsoidických výšek δH_i.

Závěrečným krokem je pak určení transformačního klíče pro transformace nových souřadnic — nyní již v systému ED 87 — do geocentrického systému BTS-87; transformační klíč se počítá pomocí identických bodů, a to s těmito výsledky:

Translace	X	Y	Z
m	− 83,185 ± 0,7	− 96,873 ± 1,0	− 117,060 ± 0,7
Rotace	ε_x	ε_y	ε_z
	− 0,0122" ± 0,03	− 0,04422" ± 0,03	− 0,0376" ± 0,02

Měřítko (ppm): 0,1388 ± 0,09.

Prakticky nulové hodnoty parametrů pootočení (i měřítka) korespondují s podmínkou, že systém ED 87 je orientován pomocí systému BTS-87. Veličiny, charakterizující posunutí vůči geocentru, jsou ve všech složkách kolem 100 m.

Spojení terestrických a družicových sítí je v tuto chvíli tedy velmi aktuální problém, ale přestože řada teoretických (i aplikačních) prací byla již publikována — viz [1, 2, 14, 16, 18, 19, 22, 25, 27, 33, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43], budou ještě konkrétní aplikace v praxi vyžadovat mnoho práce geodetů různého zaměření.

Je především zapotřebí oprostit se od zjednodušeného pohledu na transformační možnosti mezi terestrickými a družicovými sítěmi. Hlavním problémem při kombinaci prostorových složek družicových bodů s klasickými terestrickými sítěmi je skutečnost, že GPS — prostorové vektory a terestrické stanice mají rozdílné definiční prvky (rozdílné datum).

Dalším důležitým a z hlediska aplikace nejobtížnějším bodem tohoto transformačního problému je požadavek znalosti převýšení geoidu na všech stanicích, abychom mohli vypočítat elipsoidické souřadnice (B, L) a elipsoidické výšky (H). V důsledku zatím omezené přesnosti a často vůbec chybějících údajů o geoidu a dalších údajů, zejména gravimetrických, je zapotřebí nejdříve teoreticky a zejména prakticky vyřešit přednostně zejména tyto problémy.

Jestliže pak vyjdeme ze základních rovnic pozorování pro kartézské „prostorové vektory", musíme se nejprve rozhodnout pro zásadní strategii řešení. V [16] řeší autoři tento problém podrobněji a vycházejí z těchto 5 základních strategických zaměření:

1. Určení (B, L, H) z prostorového vektoru.
2. Určení pouze (B, L) z prostorových vektorů s použitím vyrovnaných elipsoidických výšek.
3. Určení (B, L, H) a převýšení geoidu ζ z prostorových vektorů za předpokladu, že jsou známy ortometrické výšky.
4. Určení (B, L) z prostorových vektorů v kombinaci s gravimetrickými údaji užitím predikce MNČ.
5. Určení (B, L, H) a převýšení geoidu ζ z prostorových vektorů v kombinaci s gravimetrickými údaji užitím kolokace.

Poznámka: Tzv. kartézské prostorové vektory (výsledek z GPS) jsou v principu čistě geometrické veličiny, které jsou definovány a priori např. ve WGS 72 nebo novějším WGS 84 (geocentrický referenční systém). Jestliže tedy transformujeme složky prostorových vektorů do národních nebo jiných lokálních referenčních systémů (3 translační, 3 rotační prvky a měřítko), snadno získáme diference v (B, L) a diference elipsoidických výšek. Avšak výšky v národních geodetických sítích jsou definovány fyzikálně jakožto ortometrické výšky h, vztažené ke geoidu jakožto referenční ploše. Proto je zapotřebí k jakémukoliv společnému zpracování, vyžadujícímu přesné a jednoznačné výsledky, znát velmi přesně převýšení geoidu.

Prvé dva body výše naznačené strategie řešení jsou vhodné pro ty uživatele, kteří sledují zdokonalení národních či kontinentálních základů nebo chtějí konfrontací starších klasických a nových družicových měření zjistit recentní pohyby zemské kůry.

Třetí bod ukazuje možnost určit nebo zpřesnit geoid za předpokladu, že je k dispozici moderní a dostatečně hustá nivelační síť.

Čtvrtý a pátý bod zahrnují důležitou možnost určit nebo odhadnout horizontální souřadnice (B, L) jakož i ortometrické výšky h ze složek prostorových vektorů v kombinaci s přesnými gravimetrickými údaji.

Poznámka 1: O tom, jaké problémy přináší principiálně rozdílná definice výšek, podává přehled a též názor na řešení [27].

Poznámka 2: O rozsáhlých a všestranných možnostech nasazení GPS v geovědách podává přehled [25 a 37]. Kromě mnoha pro praxi důležitých postřehů upozorňují autoři zejména na revoluční změnu v celkovém pojetí geodézie, která byla až dosud časově velmi náročná a drahá a některé i důležité projekty nemohly být z časových, finančních i technických příčin vůbec realizovány. Tato situace se nasazením GPS radikálně mění a již v současnosti se realizují projekty velkého rozsahu a vědeckého a praktického významu, na které nebylo možno před několika lety ani pomyslet.

Poznámka 3: Další účinnou metodou pro podstatné zpřesnění terestrických údajů jsou laserová pozorování (viz dřívější

odstavce). V této souvislosti se chceme krátce zmínit o zatím největším projektu tohoto druhu (omezíme-li se na Evropu a blízké okolí). V roce 1984 byla provedena první testovací měření pomocí vysoce mobilního „Laser Ranging System" MTLRS 1 (Modular Transportable Laser Ranging System). Jde o společný výrobek SRN a Holandska, určený především pro měření pohybů zemské kůry s centimetrovou přesností. V roce 1986 byla provedena v rámci projektu WEGENER/MEDLAS rozsáhlá měření v oblasti východní části Středozemního moře. Hlavním účelem tohoto projektu je pomocí opakovaných měření (v r. 1988, 1990 atd.) zkoumat kinematický model této oblasti a porozumět tak regionálnímu tektonickému mechanismu a fyzikálním procesům, které jsou toho příčinou. První výsledky ukazují, že očekávaná přesnost 1 cm prostorových vektorů není nerealistická. Výsledky této a dalších kampaní mohou dále významně přispět k určení měřítka a prostorové orientace geodetických sítí s mimořádnou přesností. Podrobnosti a další literatura je v „Proceedings of the 7-th International Symp. on Geod. Computations", Cracow, 1985, s. 511—533, Reinhart aj.

3. Nový evropský terestrický referenční systém ETRF-89

3.1 Úvodní poznámky

S nástupem přesnějších metod kosmické geodézie byla stále naléhavěji pociťována potřeba moderního celoevropského terestrického referenčního systému. Obě známé evropské organizace, tj. CERCO (Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle) a IAG (International Association of Geodesy), k tomuto závěru dospěly nezávisle, a posléze se, ve spolupráci svých subkomisí (VIII. Working Group (WG), CERCO a EUREF, IAG), tímto problémem trvale zabývají.

Dosud známý a užívaný WGS-84 (World Geodetic System 1984) byl definován na bázi dopplerovských měření a svojí přesností 1—2 metry (v globálním měřítku) nevyhovuje současným vysokým nárokům. Proto se jeví potřeba vytvořit nový terestrický systém, zaručující několikacentimetrovou přesnost v rámci kontinentu, a který je současně identický s WGS-84 v limitu 1—2 metry. Takto bude mj. možno kteréhokoliv ze systémů použít pro účely (např. navigační), kde se žádá pouze několikametrová přesnost.

3.2 ETRF-89: the European Terrestrial Reference Frame

V současné době jsou globální sítě určeny s přesností několika centimetrů metodami SLR a VLBI. Stálá měření na těchto stanicích jsou organizována jakožto součást IERS (International Earth Rotation Service), takže může být každý rok vypočten nový systém, uvažující „plate tectonics". K datu 1991 jsou používány výsledky měření na 70 stanicích SLR a 76 stanicích VLBI ke každoročnímu výpočtu globálního ITRF (International Terrestrial Reference Frame — následník BTS-87). V prostoru stabilní části Evropy je přesnost jednoho bodu řádu 15 mm v X, Y a Z. V roce 1990 rozhodly společně IAG EUREF — Subcommission a CERCO WG VIII, že souřadnice 1989 ITRF 36 evropských stanic ITRS definují ETRF-89 (European Terrestrial Reference Frame), který rotuje se stabilní částí Evropy.

Od r. 1989 jsou prakticky každoročně organizovány GPS — kampaně ke zhuštění této základní sítě; první větší kampaň (1989) k určení souřadnic ETRF-89 u dalších 71 bodů byla zpracována a její výsledky byly předneseny v březnu 1992 v Bernu (viz dále, rovněž informace o dalších kampaních).

3.3 Referenční elipsoid a kartografické zobrazení

V r. 1991 bylo rozhodnuto, že pro výpočet (φ, λ) ETRF-89 bude použito elipsoidu GRS-80, který je pro všechny praktické účely identický s elipsoidem, použitým pro WGS-84 (rozdíl je 0,1 mm v poloose b). Budoucí výškový referenční systém bude ještě předmětem diskuse. Pokud jde o kartografické zobrazení, společné pro celou Evropu (uvažuje se známý UTM), o tom bylo jednáno na plenárním zasedání CERCO v září 1992.

Přijetím definitivních souřadnic základních bodů v ETRF-89 (který je velmi blízký WGS-84) bude možno postupně vypočítat transformační parametry vůči národním souřadnicovým systémům všech států Evropy; rovněž budou vypočteny parametry mezi ETRF-89 a ED 50 a ED 87.

4. Od RETrig po EUREF

4.1 Vývoj a současný stav v Západní Evropě

European Datum 1987 (ED 87) bylo zatím vyvrcholením snah přetvořit geodetické dědictví více než jednoho století a dát roztříštěným národním a zemským klasickým trigonometrickým sítím modernější podobu a zachovat na delší dobu jejich „užitnou hodnotu". Současně může ED 87 sloužit jako jistá konzervace údajů, jako praehistorické východisko pro zkoumání recentních pohybů zemské kůry — to vše ovšem s výhradami, které je nutno při této historické extrapolaci připustit a uplatnit!

Nebude tedy na škodu podniknout krátkou exkurzi k sousedům a kriticky zvážit, co z jejich zkušeností a novodobých koncepcí převzít, neboť historický vývoj do konce let čtyřicátých (ale i později) byl navzájem velmi podobný.

Po 2. světové válce byla na území celé Evropy a severního pobřeží Afriky vytvořena síť, převážně z trojúhelníkových řetězců jednoduchých nebo zdvojených, která byla zpracována v tehdejším „Institut für Erdmessung, Bamberg" a která nese označení ED 50. Hlavním účelem bylo co nejrychleji sjednotit dosavadní národní sítě a vytvořit jednotný podklad pro mapy středních měřítek. Tento — z geodetického hlediska — „slepenec" byl záhy podroben dosti ostré kritice a bylo rozhodnuto vybudovat solidní ED na základě dosavadních a nových měření. K tomu byla na Valném shromáždění IUGG v Římě v roce 1954 ustavena „Permanentní komise pro nové vyrovnání evropské základní trigonometrické sítě", označená „RETrig" — „Réseaux Européennes Trigonométriques" nebo též „Readjustment of the European Trigonometric Networks". Původní záměry RETrig byly:

1. Zlepšení struktury sítě,
2. Zlepšení měřítka a orientace,
3. Spojení vzájemně vzdálených částí sítě tehdy novou metodou „SHORAN",
4. Přísný výběr měření a jejich exaktní redukce na výpočetní plochu,
5. Zevrubná analýza výsledků,
6. Použití přesného výpočetního postupu.

V důsledku různých okolností technického rázu a dalších bylo pro zpracování sítě použito Helmertovo rozdělení na bloky, což ve svých praktických důsledcích vedlo mj. k tomu, že každý stát mohl samostatně vyrovnávat síť na svém území a do mezinárodního centra předávat pouze redukované rovnice a materiál z bodů na hranicích státu.

Kromě jiných nových měření, zejména měření délek, byly ještě zaměřeny dvě speciální Základny kosmické triangulace (ZKT) ve směrech (zhruba) S-J (3 500 km) a V-Z (1 400 km).

Poznámka: V podrobnostech odkazujeme na speciální publikace RETrig č. 1—18 a tam citovanou velmi bohatou další literaturu.

Zpracování RETrig bylo rozděleno do tří fází:

Fáze I: Pouze testovací, čistě geometrické vyrovnání terestrických dat bez délek a azimutů; uzavřeno v r. 1977.

Fáze II: Vyrovnání s použitím měřených délek a azimutů, zatím vše bez družic. Uzavřeno 1979 a nazváno ED 79.

Fáze III: Kombinace předchozích terestrických a dále družicových pozorování. Zevrubné analýzy přesnosti. Uzavřeno v r. 1987 jakožto ED 87 a předneseno na IUGG ve Vancouveru 1987 — viz odst. 2.6.

Analýzy ukázaly, že ještě v ED 79 existovaly významné regionální rozpory a systematické rozdíly. Fáze III značně přispěla k odstranění většiny těchto nedostatků.

Aniž bychom zacházeli do podrobností, je zřejmé, že teprve výsledky kosmické geodézie umožnily vybudovat poměrně přesnou síť kontinentálního rozsahu. K tomu ještě dodáváme, že u spojovacích bodů (ZEMĚ—KOSMOS) byly známy výšky s přesností podstatně horší než složky horizontální. Z toho důvodu bylo zvoleno jedno z Wolfových 2-d řešení, při kterém se (X, Y, Z) transformuje na (B, L, H) a poslední (H) se u spojovacích bodů eliminuje. Tím se zpracovatelé Fáze III vyhnuli nepřesnostem, které by jinak ovlivnily výsledky tím, že převýšení geoidu je známo v okrajových částech sítě s přesností 2—3 metry.

První analýzy (viz např. [32]) ukázaly jednak již dříve známou systematickou diferenci v délkách měřených tellurometrem a geodimetrem velikosti 2 ppm. Rozdíly mezi jednotlivými bloky byly ještě větší, od − 2,3 do + 5,8 ppm, u azimutů od − 0,59" do + 1,40".

Poznámka: O ED 87 a RETrig existuje rozsáhlá literatura a oficiálním vyhlášením ED 87 ve Vancouveru v r. 1987 práce zdaleka nekončí. Sami autoři ED 87 (ale i další) konstatují, že dosud není jasno (viz např. [32]), jak zpracovat heterogenní materiál terestrických a družicových sítí v jeden homogenní celek. Zpracovatelé, tísněni termínem 1987, předložili v podstatě polotovar, na kterém dále usilovně pracují. Mezitím se totiž geometrickou řadou množí další družicové údaje, které zatím pro ED 87 nebyly využity a které mohou podstatně ovlivnit definitivní podobu ED, zejména zpevnit dosud slabá místa na okrajích ale i uvnitř sítě. Konečným cílem je tedy takové ED, jehož vnitřní i vnější přesnost by byla na úrovni současných možností a u něhož by byly známy parametry pro transformaci do CTS (Conventional Terrestrial System).

4.2 Několik historických poznámek

Ve dnech 10.—13. května 1988 se konalo v Lisabonu poslední symposium subkomise RETrig. Byly kromě jiného předneseny závěrečné zprávy o výsledcích (viz [32]) národních i mezinárodních zpracovatelských center a závěrečná zpráva o ED 87 včetně výsledných souřadnic. V závěrečných resolucích bylo mj. konstatováno, že subkomise RETrig ukončila úspěšně svoji práci a doporučeno, aby byla co nejdříve ustavena nová stálá subkomise IAG, která by pokračovala v pracech na zpřesnění a modernizaci evropských sítí v globálních souvislostech pomocí zejména nových metod kosmické geodézie.

Ve dnech 20.—21. října 1988 se konalo v Mnichově první zasedání „IAG Subcommission for the European Reference Frame (EUREF)" (viz [32]), na kterém se konstatovalo, že v dubnu 1988 zorganizoval IfAG (Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/M.) 12 denní GPS Campaign (EUNAV-1) na následujících bodech, kde se permanentně v Evropě pozoruje metodami SLR, VLBI a GPS: Bologna (Italy), Dionysos (Greece), Grasse (France), Graz (Austria), Herstmonceaux (England), Madrid (Spain), Matera (Italy), Onsala (Sweden), Tromsø (Norway), Wettzell (Germany), Zimmerwald (Switzerland). Ředitel IfAG H. Seeger konstatoval, že CERCO požaduje velmi přesný souřadnicový systém kontinentální (globální) pro praktické geodetické účely, např. na bázi WGS 84. Dále byla upřesněna GPS — Campaign na jaro 1989.

Ve dnech 28.—31. května 1990 bylo ve Florencii EUREF — Symposium, na kterém byla především podána zpráva o EUREF-GPS-Campaign 1989. Celá síť, čítající 93 stanic, byla rozdělena do 2 fází (A, B); v každé z nich bylo observováno vždy 6 dní:

fáze A: 16. 5. — 21. 5. 1989, 61 bodů;

fáze B: 23. 5. — 28. 5. 1989, 55 bodů.

Na 23 bodech bylo tedy pozorováno v obou termínech.

Na zpracování se podílely četné university (Bern, Bonn, Hannover, Delft, Nottingham, Mnichov) a instituce (IfAG, IGN).

Plánovány byly rovněž další kampaně: EUREF-North-Campaign (23.—31. 7. 1990), Turecko bylo připojeno v srpnu a září 1990. Připojení Maďarska se předpokládalo v r. 1991 (viz dále).

Na zasedání přednesl K. Poder, president subkomise EUREF, referát ke společnému zpracování terestrických a družicových sítí (viz [29]), kde se mj. zabývá zásadním rozdílem při transformaci souřadnic stejnorodých a nestejnorodých (regular transformation, non-regular transformation).

V říjnu 1990 jsme v Mnichově předběžně, neoficiálně a z naší iniciativy jednali o připojení čs. základů do evropského celku. Výsledky viz dále.

V srpnu 1991 se ve Vídni v rámci XX. valného shromáždění IUGG konalo také pracovní zasedání subkomise EUREF, již za naší účasti. Byly mj. upřesněny technické podrobnosti kampaně EUREF-EAST-91, neboť původní plány západních odborníků na dílčí připojení jednotlivých zemí se při pohledu na novou mapu Evropy postupně změnily v plány na kampaň podstatně větší.

4.3 Bern 92

Ve dnech 4.—6. března 1992 se v Bernu konalo EUREF — Symposium, jehož hlavním (a dlouho očekávaným) tématem bylo vyhodnocení výsledků z mezinárodní (západoevropské) kampaně EUREF-89, dále byly stručně

vyhodnoceny následné pozorovací kampaně EUREF-NORD a EUREF-EAST-91 a konsultovány další plány, hlavně letošní (92) mezinárodní kampaň IGS (International GPS Geodynamics Service) a projekt COST, zabývající se tvorbou jednotného celoevropského souřadnicového systému a volbou jednotného kartografického zobrazení.

Vyhodnocením průběhu kampaně EUREF-89 se zabýval prof. H. Seeger, výsledky vyrovnání komentoval W. Gurtner a další pracovníci jednotlivých výpočetních center; šlo o celkem 4 řešení: tzv. Bernské skupiny, University v Nottinghamu a dvě z Delftské university, jedno z fakulty pro výzkum kosmického prostoru a druhé z geodetické fakulty, vesměs pomocí různých software.

Nejúplnější řešení předložila Bernská skupina (spolupráce Astr. Inst. Univ. v Bernu — UNIBE, IfAG a DGK v Mnichově). Celá síť, pokrývající západní a jižní Evropu, byla v tomto řešení rozdělena do několika bloků, tyto bloky byly zpracovány individuálně a poté spojeny. Celé zpracování bylo provedeno v referenčním systému ETRF-89 (viz výše): na základě pozorování na stanicích ETRF-89 byly určeny přesné dráhy družic s výslednou přesností kolem 5 cm ve všech složkách, a na základě takto „zlepšených" drah byly určovány souřadnice dalších stanic. Formální střední chyby výsledných veličin (souřadnic, délek) se většinou u všech řešení pohybovaly pod 10 cm, v případě Bernské skupiny dokonce pod 1 cm. Rozdíly mezi jednotlivými výsledky se v průměru pohybovaly v rozmezí pod 5 cm, v ojedinělých případech byly i decimetrové. Nesouhlasy jsou většinou připisovány chybám v geodetickém připojení, anebo potížím při pozorování. Účastníci symposia doporučili přijmout jako referenční řešení výsledek Bernské skupiny s tím, že toto řešení bude dále zlepšováno po vyjasnění příčin, které způsobily větší odchylky na několika stanicích.

Zprávu o průběhu kampaní EUREF-NORD a EUREF-EAST-91 podal opět prof. H. Seeger, který zvlášť příznivě hodnotil účast zemí bývalého sovětského bloku v kampani EUREF-EAST-91. Zprávy o dílčím zpracování na území Maďarska podal A. Czobór, na území ČSFR J. Kostelecký (referát [24] autorů Kostelecký, Karský, Cimbálník). Definitivní zpracování je plánováno na rok 1993, neboť v té době by měly být již známy výsledky letošní (92) kampaně IGS (viz níže); souřadnic stanic určených v rámci IGS bude využito ke zlepšení drah družic v obou evropských kampaních.

Důležité informace o průběhu plánované kampaně IGS podal její evropský koordinátor prof. G. Beutler. Potenciálním zájemcům o účast v této kampani byly poskytnuty obsáhlé informace o podmínkách účasti a stavu příprav. Celá kampaň by měla být tříměsíční, přičemž tzv. „fiducial stations" by měly přispět čtrnáctidenním pozorováním — to je případ GO Pecný a STU Bratislava.

O problému definice společného souřadnicového systému a návrhu jednotného kartografického zobrazení pro Evropu referoval C. Boucher. Řešení těchto otázek spadá hlavně do kompetence VIII. pracovní skupiny CERCO a nového projektu COST. Bylo konstatováno, že definitivní výsledek může přinést až dohoda vzniklá na širším fóru. Stanovisko pracovní skupiny EUREF je následující:

a) data budou v rámci GIS (Geografický Informační Systém) předávána v digitální formě,

b) pro toto předávání se jeví vhodné použít geocentrický souřadnicový systém, např. WGS 84, ETRS 89 apod.,

c) dále je nutné určit transformační parametry mezi národními systémy a vybraným geocentrickým systémem — tím bude i zprostředkovaně definována návaznost na „národní" kartografické zobrazení.

O projektu COST „SERG" (Système de Références Géographique) referoval M. Le Pape. Jde o výzkumný projekt, členství je dobrovolné a činnost má být placena z národních zdrojů. V rámci tohoto projektu má být koordinována činnost EUREF, UELN (komise pro definici jednotného evropského výškového systému), VIII. prac. skupiny CERCO a permanentní skupiny CEN/TC 287 (standardizace v oblasti geografických informačních systémů). Nejbližším cílem je návrh jednotného souřadnicového systému.

Polská strana vybídla k účasti na kampani POLREF (6.—10. 7. 92) a na geodynamickém projektu v rámci střední Evropy.

Závěry obsáhlých diskuzí jsou shrnuty v rezolucích [31]; jedním z nejdůležitějších výsledků je návrh na ustavení technické pracovní skupiny EUREF (Technical Working Group of EUREF), která se bude zabývat vytvářením standardů, koordinací observačních kampaní, zřizováním výpočetních center apod.

O symposiu EUREF v Bernu a o předchozím ve Florencii bude vydán sborník.

5. Cesty ČSFR do Evropy

5.1 Spojení terestrické

Jak je z literatury (např. [11]) známo, existuje na území ČSFR velmi kvalitní astronomicko-geodetická síť (AGS), jejíž souřadnice vyrovnané spolu se sítěmi ostatních států Východní Evropy byly podkladem pro známý S-42 a později modernější S-42/83. V říjnu 1990 jsme v Mnichově poprvé jednali o připojení této AGS k evropské síti zpracované v té době v ED 87. Jednání pokračovala ve Vídni (1991) a v Bernu (1992) byla již dohodnuta forma, v jaké budou pro toto terestrické spojení dodány podklady z ČSFR a rovněž z Maďarska.

Při přípravě vyrovnání bylo nutno všechny měřené veličiny redukovat na Hayfordův elipsoid.

Vzhledem k tomu, že stará Rakousko-Uherská síť byla v minulosti vyrovnána na Besselově elipsoidu a že od této sítě byl známým způsobem odvozen S-JTSK, bylo možno ke zjištění transformačního vztahu mezi elipsoidickými souřadnicemi i převýšeními použít s dostatečnou přesností identických bodů v Rakousku.

Tížnicové odchylky, nutné hlavně k redukci astronomických azimutů, byly počítány přímo jako rozdíly astronomických souřadnic a přibližných geodetických souřadnic (již na Hayfordově elipsoidu). Jelikož na všech bodech Čs. AGS nebyly určeny astronomické souřadnice, byly chybějící údaje dopočítány astronomicko — gravimetrickou metodou s využitím dostupného bohatého gravimetrického materiálu.

Pomocí takto redukovaných dat (směrů, délek a azimutů) bylo provedeno předběžné vyrovnání s navázá-

ním na identické body, určené v systému ED 87, patřící do německé a rakouské sítě.

Pro vyrovnání bylo použito 145 bodů Čs. AGS (včetně některých zahraničních bodů), všechny dostupné měřené směry, 23 délek stran a 16 azimutů. Jelikož byly rozdíly transformovaných bodů v ED 87 a předběžně vyrovnaných souřadnic hluboko pod mezí přesnosti určení tížnicových odchylek, není pro definitivní vyrovnání třeba provádět nové redukce měřených dat.

Na základě tohoto předběžného zpracování, které bude použito jako podklad pro definitivní vyrovnání v DGK Mnichov, je možné určit parametry sedmiprvkové transformace mezi S-JTSK (reprezentované Čs. AGS) a systémem ED 87:

$$\begin{bmatrix} X_{ED87} \\ Y_{ED87} \\ Z_{ED87} \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} 1 & d\psi_1 & -d\psi_2 \\ -d\psi_1 & 1 & d\Psi_3 \\ d\psi_2 & -d\psi_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{JTSK} \\ Y_{JTSK} \\ Z_{JTSK} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

kde

$m = 1 + 7{,}396 \times 10^{-6}$

$d\psi_1 = -5{,}459''$, $d\psi_2 = -3{,}275''$, $d\psi_3 = -4{,}767''$,

$\Delta X = 600{,}797$ m, $\Delta Y = 168{,}346$ m, $\Delta Z = 593{,}652$ m.

Výsledné prostorové souřadnice X, Y, Z je možno známými vzorci převést na elipsoidické.

5.2 Spojení kosmické

Jak již bylo publikováno v [12, 24], zúčastnila se ČSFR mezinárodní GPS-kampaně „EUREF-EAST-91": na 5 bodech Čs. AGS (Pecný, Přední Příčka, Kvetoslavov, Rača, Šankovský Grúň) bylo po dobu 5 dnů měřeno aparaturami GPS; konečné výsledky, jak ji bylo řečeno, budou známy v r. 1993.

Předběžně byla síť těchto 5 bodů zpracována softwarem TRIMVEC + TRIMNET, který není určen pro sítě s délkami stran přes 100 km. Přesto jsou zajímavé výsledky (viz [24]) porovnání tětiv mezi těmito body s obdobnými, vypočtenými v různých geodetických systémech na území ČSFR. Podle předběžného odhadu je rozdíl mezi GPS a S-42/83 cca 0,3—0,4 ppm!

V návaznosti na těchto 5 bodů bylo v rámci kampaně CS-NULRAD-92 v květnu 1992 zaměřeno dalších 13 bodů, které budou spolu s předchozími 5 body tvořit tzv. „nultý" řád Čs. AGS. O výsledcích bude čs. odborná věřejnost průběžně informována.

6. Závěry

1. Dosud existují ve většině vyspělých zemí základy budované klasickou triangulací a dnes zpřesňované elektronickými dálkoměry a metodami kosmické geodézie. Příkladem je ED 87.

2. Postupné zavádění geocentrických systémů umožní 3-d řešení všech geodetických úloh, statických i dynamických. Základním předpokladem přechodu z 2-d metod na 3-d metody je znalost přesného převýšení geoidu.

3. Žádné další klasické AGS nebudou nadále budovány a jejich roli převezmou postupně body a sítě určené metodami kosmické geodézie.

4. Všechny globální, ale i současné lokální problémy dynamické geodézie včetně recentních pohybů zemské kůry, budou řešeny metodami kosmické geodézie.

5. V současném době je z hlediska 3-d metod nejslabším článkem výška, respektive převýšení geoidu nad elipsoidem. Existují však reálné možnosti tento nedostatek napravit.

6. Čs. základy vycházející z klasické triangulace jsou právě velmi dobře zpracovány v S-42/83; připravuje se vytvoření zcela ekvivalentního systému pro civilní potřeby — viz [11].

7. Pro ČSFR přinesou výsledky kosmické geodézie mnohostranný užitek; mohou např.:

a) Zajistit jakémukoliv systému přesnou orientaci v nově definovaném celoevropském terestrickém referenčním systému ETRF-89.

b) Zpřesnit relativní vztahy mezi body AGS a dalšími — to právě probíhá, počínaje měřením nultého řádu Čs. AGS.

c) Umožnit obnovu větších celků Čs. trigonometrické sítě a dosáhnout tak jejího významného zpřesnění.

d) Zjistit konfrontací s tvarově zpracovanou AGS případné recentní pohyby zemské kůry v posledních zhruba 50 letech.

LITERATURA:

[1] ASKHENAZI, V.: Two and Three Dimensional Adjustment Models for Combining Terrestrial and Space Observations. Graz, Geod. Universalis: Festschr. Karl Rinner 1982.

[2] ASKHENAZI, V.—GRANE, S. A.: Adjustment Models for Combining Space Data with Continental Control Networks. Munich, RETrig Publ. No 15, 1985.

[3] ASKHENAZI, V.: National and Continental Networks: Past, Present and Future. IAG Section I: Positioning — Rewiew Paper. Vancouver, XIX. Gen. Ass. of the IUGG 1987.

[4] Berichte zur XIX. Generalversammlung der IUGG — Assoziation für Geodäsie — im August 1987 in Vancouver. ZfV, 1988, Heft 5.

[5] BORUTTA, H.: Discrete Dynamic Optimization of Relative GPS — Positioning. In.: Proceedings of the International Symposium on Geodetic Comp., Cracow 1985, s. 159.

[6] BOUCHER, C.: Reference System Related to GPS. Firenze, EUREF Symposium 28.—31. 5. 1990.

[7] CIMBÁLNÍK, M.: Transformation des Tschechoslowakischen Einheitsnetzes in das Internationale System. Studia geoph. et geod. *4*, 1960, s. 133—152.

[8] CIMBÁLNÍK, M.: Derived Geometrical Constants of the Geodetic Reference System 1980. Studia geoph. et geod. *31*, 1987, s. 404—406.

[9] CIMBÁLNÍK, M.: Geometrické konstanty referenčních elipsoidů. GaKO, *33* (*75*) 1987, č. 8.

[10] CIMBÁLNÍK, M.: Řešení problému modernizace geodetických polohových základů ČSFR. [Doktorská disertační práce.] Praha 1989. ČVUT v Praze. Stavební fakulta.

[11] CIMBÁLNÍK, M.: Improvement of the Accuracy of National Coordinate Systems Using Global Systems. Studia geoph. et geod. *35*, 1991, s. 133—144.

[12] CIMBÁLNÍK, M.—KOSTELECKÝ, J.—ŠIMEK, J.—PRIAM, Š.: Czechoslovak Report on the Planned GPS-activities in EUREF National Geodetic Control and Geodynamic Investigations. [Presented at EUREF-EAST-91 Workshop.] Budapest, May 1991.

[13] EHRNSPERGER, W.: Computations for the Final Solution of RETring. Vancouver, XIX. IUGG, IAG 1987.

[14] EHRNSPERGER, W.—HORNIK, H.—KELM, R.—TREMET, H.: Das Europäische Datum 1987 (ED 87) als Gebrauchsnetz für die Landesvermessung. ZfV, *112* 1987, Heft 3.

[15] EHRNSBERGER, W.: The ED 87 Adjustment. Bull. Géod. *65*, 1991, s. 28—41.

[16] EISSFELLER, B.—LANDAU, H.—HEIN, G. W.: The Processing of GPS Baseline Vectors in Conventional Geodetic Networks Using Gravity Field Information and Least Squares Collocation. In.: Proceedings of the International Symposium on Geodetic Computations. Cracow 1985, s. 543.
[17] EREN, K.: Geodetic Network Adjustment Using GPS Triple Difference Observations and a Priori Stochastic Information. [Technical Report No. 1.] Stuttgart 1987. Inst. of Geodesy Univ. of Stuttgart.
[18] GRAFAREND, E. W.—KREMERS, H.—LINDLOHR, W.: Threedimensional Operational Adjustment of Geodetic Observations of Terrestrial Type Including Prior Information of the Unknowns. In.: Proceedings of the International Symposium on Geodetic Computations. Cracow 1985, s. 207.
[19] HEIN, G.—LANDAU, H.: A Contribution to 3-d Operational Geodesy, Part 3: OPERA — a Multipurpose Program for the Adjustment of Geodetic Observations of Terrestrial Type. Munich 1983. DGK.
[20] International GPS Geodynamics Service. Newsletter *92—1*, January 1992. Astronomical Institut, University of Bern.
[21] KARSKÝ, G.: GPS — některé teoretické aspekty. [Seminář „Moderní metody určování polohy", Brno 1989.] Zdiby, EDICE VÚGTK 1989, s. 7—26.
[22] KELM, R.: Computational Procedures in RETrig Phase III. In.: Proceedings of the International Sympoisum on Geodetic Compoutations. Cracow 1985, s. 619.
[23] KELM, R.: European Datum 1987. [Final Report of the International Computing Centre Munich.] Munich, RETrig, Publ. No. 18, s. 34—61, 1989.
[24] KOSTELECKÝ, J.—KARSKÝ, G.—CIMBÁLNÍK, M.: Preliminary Results of the EUREF-EAST-91 Campaign in Czechoslovakia. EUREF Meeting, March 4—6, 1992 in Bern (v tisku).
[25] LELGEMAN, D.—GEHLICH, U.: GPS — Einsatz in der geowissenschaftlichen Forschung und der Landesvermessung. ZfV, *9/10*, 1988, s. 481.
[26] MORITZ, H.: Geodetic Reference System 1980. Bull. géod., Vol. *54*, No. 3, 1980, s. 395—405.
[27] NESBO, Y.: GRS-80 — the New Height System. ÖZfV, *2*, 1988, s. 210.
[28] PODER, K.: A Note on the EUREF System. Vienna, IUGG General Assembly, AUG 11—24, 1991.
[29] PODER, K.: A Strategy for Coordinate Transformations and Predictions. Firenze, EUREF Symposium, May 28—31, 1990.
[30] Resolutions of the EUREF Symposium, Firenze, May 28—31, 1990.
[31] Resolutions of the EUREF MEETING. Berne, March 4—6, 1992.
[32] RETRIG, Publication No. 18, IAG Section 1 — Positioning. Munich 1989.
[33] SEEBER, G.: Dei Rolle des NAVSTAR Global Positioning Systems für die Lösung geodätischer Aufgaben. ZfV, 1984, Heft 1, s. 1—11.
[34] SEEGER, H., aj.: Status-Report on the EUREF-GPS-Campaign 1989 to the IAG EUREF-Subcommission. Firenze, EUREF Symposium, May 28—31, 1990.
[35] SEEGER, H.: The New EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM ETRF-89. EUREF MEETING Berne, March 4—6, 1992.
[36] SCHWINTZER, P.—REIGBERG, CH.—STRAUSS, R.: Macrometerbeobachtungen im Deutschen Hauptdreiecksnetz (Macrometer-Netz „Hessen") — Auswertung und Vergleich mit den terrestrisch bestimmten Punktkoordinaten. München 1985. DGK BAW, B, Nr. 273.
[37] ŠIMEK, J.: GPS — využití pro geodetické určování polohy. [Seminář „Moderní metody určování polohy", Brno 1989.] Zdiby, EDICE VÚGTK 1989, s. 27—64.
[38] VINCENTY, T.: Method of Adjusting Space System Data and Terrestrial Measurements. Bull. géod., Vol. *56*, No. 3, 1982.
[39] VONDRÁK, J.: VLBI a jeho důsledky v geodynamice. [Seminář „Moderní metody určování polohy", Brno 1989.] Zdiby, EDICE VÚGTK 1989.
[40] WELSCH, W. M.—OSWALD, W.: Accuracies in Combined Terrestrial and Satellite Network. In.: Proceedings of the International Symposium on Geodetic Computations. Cracow 1985, s. 125.
[41] WOLF, H.: Das Lage- und Höhenproblem in grossen geodätischen Netzen bei Einbeziehung von Satellitendopplermessungen. ZfV, 1985, Heft 5, s. 179—186.
[42] WOLF, H.: Datums-Bestimmung in Bereich des Deutschen Landesvermessung. ZfV, 1987, Heft 8, s. 406—413.
[43] ZHONGO, Z.—DINGBO, CH.: Combined Satellite and Terrestrial Net Adjustment. In.: Proceedings of the International Symposium on Geodetic Computation. Cracow 1985, s. 765.

Do redakce došlo: 6. 5. 1992

Lektoroval:
Prof. Ing. Zdeněk Nevosád, DrSc., VA Brno

Mezinárodní služba GPS pro geodynamiku

Ing. Leoš Mervart,
katedra vyšší geodézie FSv ČVUT v Praze

528.344: 629.783 GPS:551.2

1. Úvod

Globální polohový systém (GPS) se stal a pravděpodobně několik desetiletí zůstane nejdůležitějším systémem v oblasti zeměměřictví, navigace, geodézie a geodynamiky. Bylo prokázáno, že nejvyšší přesnosti je možno dosáhnout při relativním určování polohy (běžně jeden centimetr v poloze a několik málo centimetrů ve výšce pro sítě o rozměrech přes 1000 km), pokud jsou dobře modelovány dráhy družic GPS. Nedávné globální GPS experimenty (např. „First GPS IERS and Geodynamics Experiment, GIG '91") jasně ukázaly schopnost GPS být cenným přínosem pro výzkum globální geodynamiky. Ve srovnání s prostorovými technikami VLBI (Very Long Baseline Interferometry) a SLR (Satellite Laser Ranging) poskytuje GPS nejvyšší časovou rozlišovací schopnost při sledování pohybů zemského rotačního pólu. Zároveň je ale zřejmé, že určování rotačních parametrů Země pomocí GPS nelze oddělit od zpřesňování drah družic GPS.

Zmíněné schopnosti GPS byly prokázány v mnoha regionálních a několika globálních kampaních. V současné době začíná nová éra permanentního monitorování geodynamických procesů. Předehrou k němu je celosvětová permanentní síť GPS. Je třeba poznamenat, že CIGNET (Cooperative International GPS NETwork) je otevřená síť GPS, která má za úkol poskytovat vědecké veřejnosti data pro určování efemerid družic GPS. Na-

př. Scripps Institution of Oceanography v rámci monitorování PGGA (Permanent Geodetic and Geodynamic Array) v Kalifornii pravidelně (každodenně) zpracovává data z celosvětové sítě CIGNET. Ukazuje se, že žádaným vedlejším produktem takových experimentů jsou právě přesné dráhy družic GPS.
V souvislosti s náklady výpočetních procesů a s tím, že je možno oddělit globální určování drah družic GPS od regionálních analýz, vyvstal přirozený požadavek na zřízení mezinárodní GPS služby.

2. Úkoly IGS

Základním cílem International GPS Geodynamics Service (IGS) je poskytnout vědecké veřejnosti efemeridy družic GPS v takové kvalitě, aby bylo možno provádět většinu regionálních a lokálních analýz bez dalšího zpřesňování drah. Přesnost by měla být přinejmenším srovnatelná s přesností, které je dnes možno dosáhnout při zpracování regionálních kampaní (1 cm na 1000 km).
Důraz je kladen na to, aby IGS byla skutečně službou a aby její výsledky byly pravidelně dostupné prostřednictvím tří „network centers" (viz dále) se zpožděním jednoho až dvou dnů.
Některá výpočetní centra (např. Astronomický ústav v Bernu) budou rovněž počítat a zveřejňovat parametry rotace Země. Zde je ale nutné poznamenat, že pomocí GPS není možno obdržet plnou informaci o rotaci Země, neboť rozdíl UT1-UTC je plně korelován se společnou rotací výstupných uzlů drah všech družic GPS.
V budoucnu bude IGS zajišťovat také informace, týkající se ionosféry a stavu celého GPS. V nejbližší době bude ale důraz kladen především na dráhy družic a parametry rotace Země.

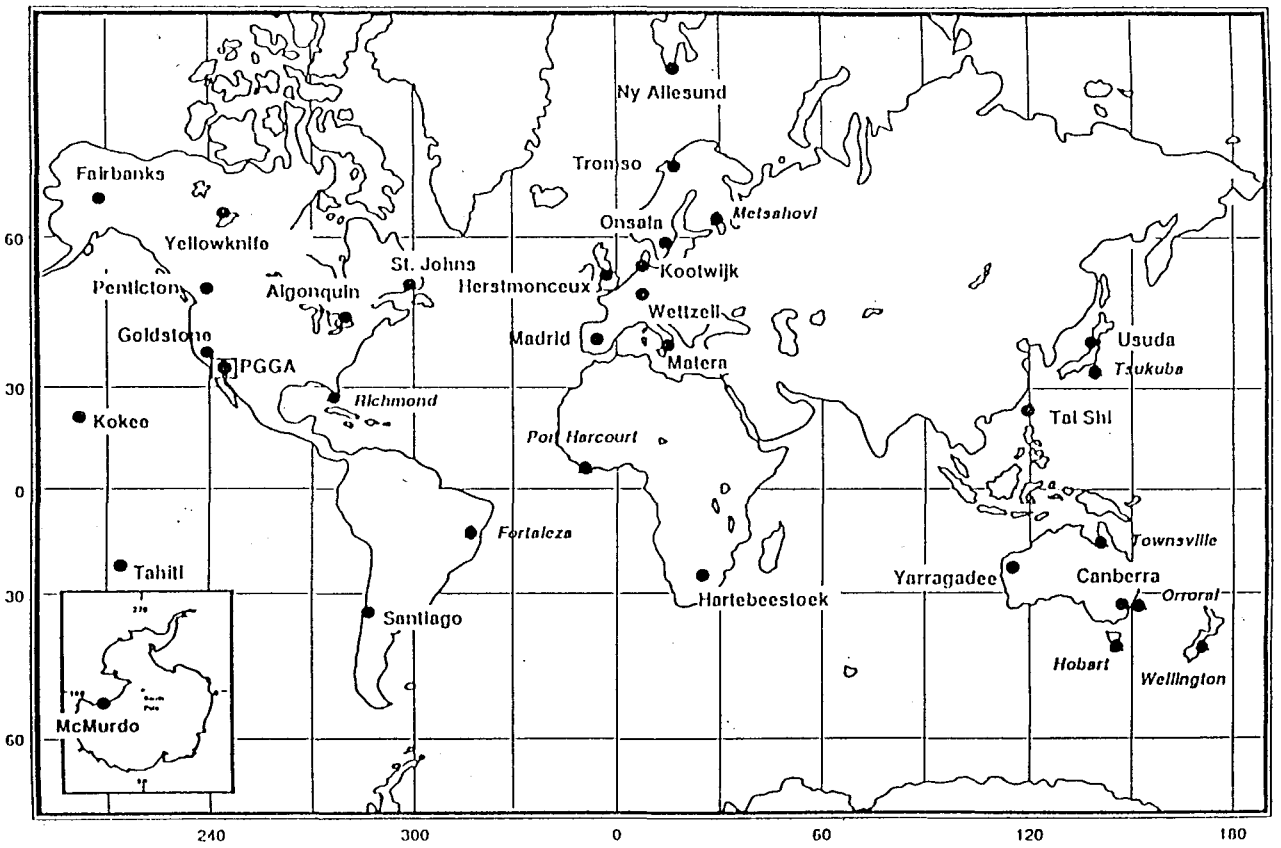
3. Vývoj IGS

Na IAG (International Association of Geodesy) General Meeting v roce 1989 v Edinbourghu R. Neilanová, W. Melbourne a G. Mader navrhli vytvoření International GPS Service for Geodynamics. V lednu 1990 vyzval I. I. Mueller — v té době prezident IAG — R. Neilanovou, G. Madera, W. Melbournea a B. Minstera k sepsání požadavků pro IAG, aby ustavila pracovní skupinu IAG, která by měla za úkol připravit návrh IGS pod dohledem IAG. Na schůzi výkonného výboru IAG v Paříži v březnu 1990 byl formálně ustanoven plánovací výbor IAG pro IGS a I. I. Mueller se stal jeho předsedou. Hlavními úkoly tohoto výboru bylo:
— připravit zprávu o plánovaných aktivitách pro XX-th General Assebly of IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) ve Vídni,
— zorganizovat kampaň pozorování v roce 1992 (International Space Year),
— po ukončení této kampaně předložit IAG návrh na ustavení IGS.
Po několika schůzích vyzval plánovací výbor v únoru 1991 další instituce ke spolupráci. Instituce se mohly zapojit jako observatoře, data centers (centra dat), analysis centers (analytická centra) atd.
Byly naplánovány dvě odlišné kategorie sítí:
(1) Tzv. core network (kostra) — asi 30 stanic — rozmístěných po celém světě s kontinuálním transferem dat — vybavených vysoce kvalitními přijímači. Tyto stanice budou sloužit pro určování drah družic a parametrů rotace Země.
(2) Síť pevných bodů (asi 100—200 stanic), jako první zhuštění kostry, by měla být periodicky měřena s použitím přesných přijímačů GPS, po dobu jednoho až dvou týdnů, jednou za dva roky.

Hlavním úkolem center dat je přejímat data od sledovacích stanic, převádět je do Receiver-INdependent EXchange formátu (RINEX) a předávat je analytickým centrům.
Hlavním úkolem analytických center je provádět analýzy obou kategorií sítí a produkovat efemeridy družic, parametry rotace Země atd. Analytická centra se dělí do tří typů:
— výpočetní centra, jejichž hlavním úkolem je provádět převážně globální analýzy kostry. Tato centra by měla výpočty provádět rutinně, prakticky v reálném čase,
— přidružená výpočetní centra, která budou zpracovávat podobné údaje jako výpočetní centra, ale budou se omezovat na kratší časové intervaly,
— vyhodnocovací centra, budou zpracovávat údaje ze stanic v určitém regionu a využívat výsledků výpočetních center.
Centrální úřad by měl zodpovídat za řízení celé služby, za shromažďování a distribuci výsledků.
Do 31. května 1991 se ke spolupráci přihlásilo více než 100 institucí, což dokazuje velký zájem vědecké veřejnosti o IGS.

V průběhu XX-th General Assembly of IUGG v srpnu 1991 ve Vídni I. I. Mueller, B. Minster, R. Neilanová, a B. Schutz přednesli zprávu o činnosti plánovacího výboru. Plánovací výbor byl poté reorganizován a přejmenován na dohlížecí výbor (IGS Campaign Oversight Committee). Předsedou byl zvolen G. Beutler z Astronomického ústavu v Bernu. Složení tohoto výboru v březnu 1992 bylo následující:

G. Beutler	Astronomical Institute, Univ. of Berne	Switzerland
Y. Bock	Scripps Institution of Oceanography	USA
L. Boloh	CNES	France
C. Boucher	IGN	France
M. Campos	Univ. Fed. do Parana	Brazil
J. Y. Chen	Natl. Bureau of Surveying	China
D. Delikaraoglou	EMR, Geodetic Survey Division	Canada
J. M. Dow	European Space Agency	Germany
W. Gurtner	Astronomical Institute, Univ. of Berne	Switzerland
D. M. Fubara	Rivers State University	Nigeria
J. Engeln	NASA, Solid Earth Science	USA
B. Engen	Statens Kartverk	Norway
P. J. Fell	NSWC	USA
C. C. Goad	Ohio State University	USA
T. Kato	Earth quake res. Inst., Tokio Univ.	Japan
G. M. Mader	NGS	USA
J. Manning	AUSLIG	Australia
W. G. Melbourne	NASA/JPL	USA
J. B. Minster	Scripps Institution of Oceanography	USA
P. Morgan	Univ. of Canberra	Australia
I. I. Mueller	Ohio State University	USA



Obr. 1 Core network

R. E. Neilan	NASA/JPL	USA
B. Roth	Defence Mapping Agency	USA
W. Schlueter	IfAG	Germany
B. E. Schutz	University of Texas at Austin	USA
S. Tatevian	Space Geodesy, Academy of Sciences	Russia
H. Tsuji	GSI	Japan
V. Velikov	Inst. of Applied Astronomy	Russia

IUGG přijala rezoluci číslo 5, která může být považována za chartu IGS:
Mezinárodní geodetická a geofyzikální unie prohlašuje, že prudce vzrostlo používání Globálního polohového systému (GPS) pro geodézii a geofyziku, a že tento systém bude hrát v příštích desetiletích hlavní úlohu v globálních a regionálních studiích Země a jejího vývoje a poznamenává, že jeho plný vědecký potenciál může být využit pouze s mezinárodní spoluprací a koordinací, aby mohla být vytvořena a provozována globální sledovací síť s analýzou dat a jejich rozšiřováním, doporučuje, aby koncepce International GPS Service for Geodynamics (IGS) byla vyzkoušena v příštích čtyřech letech, aby jako první krok byla provedena jedna nebo více kampaní pro ověření a vývoj této koncepce, aby všechny účastnické země se podílely podle svých nejlepších schopností a jejich aktivity byly koordinovány co možná nejtěsněji s porovnáním globálních výsledků jiných členských asociací, stejně tak jako dalších organizací a požaduje, aby existující globální geodetické systémy jako Very Long Baseline Interferometry (VLBI) a Satellite Laser Ranging (SLR) byly využity pro intenzivní kampaně pozorování ve spojení s navrhovanou činností IGS.

4. Činnost IGS v roce 1992

Hlavním úkolem nového dohlížecího výboru bylo zorganizování aktivit IGS v roce 1992. V říjnu 1991 se konala první schůze výboru v Goddardově středisku kosmických letů, práce pokračovala a byla dokončena na 6. mezinárodním geodetickém symposiu o družicovém určování polohy v Columbusu ve státě Ohio. Byly ustaveny následující pracovní skupiny (v závorce vždy předsedající):

— standard pro výměnu dat GPS (W. Gurtner),
— komunikace (P. Morgan),
— koordinace analytických center (C. Goad),
— referenční systém (C. Boucher),
— standard pro distribuci výsledků (R. Neilanová),
— kampaň '92 (B. Minster).

Výsledkem plánovacích činností jsou:

Kampaň '92

Tato kampaň se bude konat od 21. června 1992 do září 1992. Na obr. 1 je zobrazena core network. Jedná se o síť asi 30 stanic, vybavených dvoufrekvenčními přijímači s *P*-kódem. Tyto stanice budou každodenně předávat měřené údaje do center dat. Odtud budou analytická centra přebírat pouze ty údaje, které budou skutečně zpracovávat. Důraz je kladen na operační charakter sítě, pravidelné zpracování dat a distribuci výsledků.

Během této kampaně bude fungovat 9 výpočetních center:

CODE	(Center for Orbit Determination in Europe) — Astronomical Institute Berne, Switzerland — IfAG, Germany — IGN, France — Statens Kartwerk, Norway — Landestopographie, Switzerland	G. Beutler
AUSTIN	University of Texas at Austin	B. Schutz
DGFI	German Geod. Research Institute	Ch. Reigber
ESOC	European Space Operations Center	J. Dow
NGS	U.S. National Geodetic Survey	G. Mader
NAL	National Aerospace Lab., Japan	M. Murata
JPL	Jet Propulsion Laboratory, USA	W. Melbourne
DMA	Defence Mapping Agency, USA	J. Slater
SIO	Scripps Inst. of Oceanography, USA	Y. Bock

Data by měla procházet hierarchickou sítí, počínaje v operačním centru nejblíže přijímače, přes regionální centrum dat, až po jedno ze tří hlavních center dat. V analytických centrech by měla být data k dispozici nejpozději do 72 hodin po posledním měření. Hlavní tři centra dat jsou CDDIS (Crustal Dynamics Data Center, USA), SIO (Scripps Institution of Oceanography, USA) a IGN (Institut Geographique National, France). Každé z těchto tří center bude uchovávat úplnou kopii všech dat o kostře, katalog dat regionálních center a výsledky výpočetních center.

Kampaň Epoch '92

Plánování, organizace a provádění regionálních kampaní je záležitostí regionálních koordinátorů. Pro oblast Evropy a Afriky byla koordinátorem B. Engen.

Kampaň Epoch '92 je plánována na 27. července až 9. srpna 1992. Přibližně 100 sledovacích stanic by se mělo napojit na centra dat a výpočetní centra ve svém regionu. Mezi stanicemi je i Geodetická observatoř Pecný Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického, Zdiby a stanice příslušející Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Data z těchto stanic budou přicházet do regionálních center dat, ale ne nezbytně do tří hlavních center dat.

LITERATURA:

[1] BEUTLER, G.—MUELLER, I. I.: The International GPS Service for Geodynamics — Development and Current Structure. [Referát přednesený na 6-th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning.] Columbus, březen 1992.

Do redakce došlo: 7. 5. 1992

Lektoroval:
doc. Ing. Jan Kostelecký, CSc., VÚGTK, Zdiby

K otázce transformací trigonometrických sítí

doc. Ing. Miloš Pick, DrSc., Geofyzikální ústav ČSAV, Praha

528.063.1 + 528.33

1. Úvod

V poslední době se v souvislosti s evropskými integračními procesy v oblasti geodézie a kartografie projevuje i potřeba změn dosud v ČSFR užívaných souřadnicových systémů. K tomu je třeba mít k dispozici vypracované metody transformací a potřebné výpočetní programy. Po zkušenostech z r. 1952 z transformace původního souřadnicového systému S-JTSK do mezinárodního souřadnicového systému S-1942 se ukázalo, že vhodným způsobem pro práce tohoto druhu na našem území je transformace konformní, vhodně zvoleného stupně. Deformace, způsobené konformní transformací, mají výhodnější vlastnosti před deformacemi jiného typu (afinní apod.), šíření deformací je pak rovnoměrnější. Pouze fyzikálně oprávněné transformaci projektivní je třeba dávat přednost.

Proto je podle mého názoru vhodné použít opět tohoto způsobu převodu mezi souřadnicovými systémy. K napsání článku mě přiměla i skutečnost, že v české literatuře je otázka konformní transformace vyššího stupně opomíjená.

V článku jsou nejprve uvedeny rovnice pro konformní transformaci libovolného stupně a odvozen způsob, jak určit parametry transformačních rovnic. Po odvození potřebných matematických vztahů jsou uvedeny dva numerické příklady.

Výpočetní programy byly zpracovány zcela obecně a lze při nich volit míru přesnosti transformace. Práci usnadňuje to, že pro všechny pracovní souřadnicové systémy na území ČSFR vzájemné odchylky v souřadnicích leží v mezích 2 metry.

Za numerický příklad byl předně zvolen matematický model bez zatížení měřickými chybami. Vstupními souřadnicemi byly rohy kilometrové sítě 50×50 km v S-JTSK. Novým systémem byly odpovídající souřadnice v tzv. systému S-1952, vypočtené pomocí parametrů kubické konformní transformace [3]. Výsledné opravy musí v tomto případě dosahovat maximálně 1 mm.

Jako druhý příklad bylo užito převodu souřadnic pracovního systému S-JTS [5] (v rovině Křovákova zobrazení) do systému S-1942/83 [2]. (v rovině Gaussova zobrazení). Předem byl stanoven požadavek, aby přesnost transformace bylo okolo 10 cm.

2. Konformní transformace rovinných souřadnic

Pro konformní transformaci souřadnicového systému (x, y) do systému (X, Y) platí Cauchyho vztahy

$$dX/dx = dY/dy, \quad dX/dy = -dY/dx. \qquad (1)$$

Tab. 1

	Vstupní hodnoty (m)			
1	x = 1150 000	y = 150 000	X = 1150 166,307	Y = 150 058, 565
2	1200 000	150 000	1200 166,637	150 056,558
3	1250 000	150 000	1250 166,983	150 054,578
4	1300 000	150 000	1300 167,345	150 052,627
5	1000 000	500 000	1000 179,826	500 066,125
6	1200 000	500 000	1200 180,286	500 058,205
7	1350 000	500 000	1350 180,697	500 052,611
8	950 000	900 000	950 196,301	900 068,075
9	1050 000	900 000	1050 196,007	900 063,962
10	1150 000	900 000	1150 195,687	900 059,995

Tab. 2

$Z(i)$ (pro $M = 4$)	V_x	V_y
+ 153,860	−0,001	0,001
+ 108,888	−0,001	0,000
+ 4,589 188 . 10^{-6}	0,000	0,000
− 46,304 668 . 10^{-6}	0,001	0,000
− 0,402 455 . 10^{-12}	0,001	−0,001
+ 0,000 780 . 10^{-12}	0,000	0,000
+ 0,929 117 . 10^{-18}	0,000	0,000
+ 1,123 231 . 10^{-18}	0,001	0,000
+ 0,090 935 . 10^{-24}	0,000	0,000
− 0,083 145 . 10^{-24}	−0,001	0,001

Aplikací rovnic (1) se dají snadno odvodit transformační rovnice libovolného stupně. Platí

$$X = A + ax - by + c(x^2 - y^2) - 2dxy + ex(x^2 - 3y^2) - fy(3x^2 - y^2) + g(x^4 - 6x^2y^2 + y^4) + 4hxy(x^2 - y^2) + \ldots,$$

$$Y = B + bx + ay + d(x^2 - y^2) + 2cxy + fx(x^2 - 3y^2) + ey(3x^2 - y^2) - h(x^4 - 6x^2y^2 + y^4) + 4gxy(x^2 - y^2) + \ldots . \quad (2)$$

Rovnice (2) obsahují $(2M + 2)$ neznámých koeficientů $A, B, a, b, c, d, e, f, g, h, \ldots$, kde M je stupeň transformace. Odvodíme je vyrovnáním. Rovnice (2) přepíšeme do tvaru

$$X_i - x_i = A + (a - 1)x_i - by_i + c(x_i^2 - y_i^2) - 2dx_iy_i + \ldots,$$
$$Y_i - y_i = B + (a - 1)y_i + bx_i + 2cx_iy_i + d(x_i^2 - y_i^2) + \ldots, \quad (3)$$

a systém $2N$ rovnic (3) vyjádříme výchozí maticovou rovnicí

$$\mathbf{A}\,(2N, 2M + 2)\,\mathbf{Z}\,(2M + 2{,}1) = \mathbf{L}\,(2N, 1), \quad (4)$$

kde **A** je matice koeficientů,
L je matice rozdílů souřadnic $X - x$, $Y - y$,
$2M + 2$ je počet neznámých koeficientů v rovnicích (3),
N je počet bodů, jejichž souřadnice jsou dány v obou soustavách souřadnic.

Matici **A** přepíšeme, jak je v numerických výpočtech obvyklé, na sloupcový vektor podle schematu

$$\mathbf{A} = \left| \begin{matrix} \cdots \end{matrix} \right| .$$

Pak i-tý řádek matice **A** bude mít ve sloupcovém vektoru indexy, uvedené v závorkách: $A(i) = 1$, $A(N + i) = 0$, $A(2N + i) = 0$, $A(3N + i) = 1$, $A(4N + i) = x_i$, $A(5N + i) = y_i$, $A(6N + i) = -y_i$, $A(7N + i) = x_i$, $A(8N + i) = x_i^2 - y_i^2$, $A(9N + i) = 2x_iy_i$, $A(10N + i) = -A(9N + i)$, $A(11N + i) = A(8N + i)$, atd., až po člen $A[(4M + 3)N + i]$, kde M je stupeň transformace a N je počet společných bodů. ($i = 1, 2, \ldots, N$).

Tvar matice **A** tedy bude

$$\mathbf{A} = \left| \begin{matrix} 1 & 0 & x_1 & -y_1 & (x_1^2 - y_1^2) & -2x_1y_1 & \ldots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & 0 & x_N & -y_N & (x_N^2 - y_N^2) & -2x_Ny_N & \ldots \\ \hline 0 & 1 & y_1 & x_1 & 2x_1y_1 & (x_1^2 - y_1^2) & \ldots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 1 & y_N & x_N & 2x_Ny_N & (x_N^2 - y_N^2) & \ldots \end{matrix} \right| \quad (5)$$

Koeficienty $A, B, a, b, c, d, e, f, g, h \ldots$ jsou sestaveny v sloupcovém vektoru **Z**

$$\mathbf{Z}^T = (A, B, (a - 1), b, c, d, \ldots). \quad (6)$$

Sloupcový vektor **L** obsahuje rozdíly souřadnic $(X_i - x_i)$, $(Y_i - y_i)$. (Pokud systémy souřadnic (X, Y), (x, y) nejsou sobě dostatečně blízké, je lépe nejprve přejít na redukované souřadnice. Bližší viz [4].)

V našem případě tedy platí

$$\mathbf{L}^T = (X_1 - x_1, X_2 - x_2, \ldots X_N - x_N, Y_1 - y_1, \ldots Y_N - y_N). \quad (7)$$

Obvyklým způsobem sestavíme rovnice normální

$$\mathbf{A}^T\mathbf{A}\mathbf{Z} = \mathbf{A}^T\mathbf{L}. \quad (8)$$

Jejich řešením dostaneme

$$\mathbf{Z} = (\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1}\,\mathbf{A}^T\mathbf{L}. \quad (9)$$

Rovnice oprav pak jsou

$$\mathbf{V} = \mathbf{A}\mathbf{Z} - \mathbf{L} = \mathbf{A}\,(\mathbf{A}^T\mathbf{A})^{-1}\,\mathbf{A}^T\mathbf{L} - \mathbf{L}. \quad (10)$$

Tab. 3

$Z(i)$ (pro $M = 3$)
154.1450
108.6498
$4.10689 \cdot 10^{-6}$
$-45.34012 \cdot 10^{-6}$
$-0.35714 \cdot 10^{-12}$
$2.44406 \cdot 10^{-12}$
$1.17053 \cdot 10^{-18}$
$1.70403 \cdot 10^{-18}$

Střední odchylka s v souřadnicích bodů se určí ze vztahu

$$s = \pm \sqrt{\sum(V_x V_x + V_y V_y)/(2N - 2M - 2)}. \quad (11)$$

Odvodíme-li numerické hodnoty parametrů transformace, tj. určíme-li matici **Z**, můžeme transformovat k — souřadnic (x_i, y_i) do systému (X_i^T, Y_i^T) pro $i = 1, 2, \ldots, k$. Z rovnic (3) a (4) dostaneme

$$X_i^T = A + x_i + (a - 1)x_i - by_i + c(x_i^2 - y_i^2) - 2x_i y_i + \ldots,$$
$$Y_i^T = B + y_i + (a - 1)y_i + bx_i + 2cx_i y_i + d(x_i^2 - y_i^2) + \ldots,$$
$$i = 1, 2, \ldots, k, \quad (12)$$

čili

$$\begin{vmatrix} X_1^T \\ \ldots \\ X_k^T \\ Y_1^T \\ \ldots \\ Y_k^T \end{vmatrix} = \mathbf{A}\,(2k, 2M + 2)\,\mathbf{Z}\,(2M + 2,1) + \begin{vmatrix} x_1 \\ \ldots \\ x_k \\ y_1 \\ \ldots \\ y_k \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Při tom uspořádání matice **A** v rovnici (13) je shodné s rovnicí (5), ovšem v rovnici (5) má matice **A** $2N$ řádků, zatím co v rovnici (13) má $2k$ řádků. Matice **Z** v rovnici (13) je totožná s maticí **Z** v rovnici (6).

Výpočty byly uskutečněny přímo podle rovnic (4)—(13). Software počítače PP 06 byl pro tyto účely doplněn o řešení rovnic maticového počtu podle IBM SSP [1]. Vše pro dvojitou přesnost (tj. asi pro 15 platných cifer).

3. Numerické příklady konformní transformace

Jako prvý příklad uvedeme transformaci souřadnic (x, y) v souřadnicovém systému S-JTSK do tzv. systému S-1952. Bylo zvoleno 10 společných bodů. V rovině Křovákova zobrazení bylo vybráno 10 rohů kilometrové sítě 50 × 50 km; v systému (X, Y) pak odpovídající souřadnice v systému 1952, vypočtených pomocí parametrů konformní kubické transformace s přesností 0,001 metru [3] — tab. 1.

Výsledky výpočtu jsou pro $M = 4$ (po zaokrouhlení) uvedeny v tab. 2.

Pro součet oprav platí

$$\sum (V_x + V_y) = -0{,}000\,335.$$

Střední odchylka pak bude

$$s = \pm \sqrt{\sum(V_x V_x + V_y V_y)/(2N - 2M - 2)} = \pm\, 0{,}001\,007.$$

Jen pro zajímavost, původní transformační parametry kubické konformní transformace byly [3] — tab. 3.

V druhém příkladu byly odvozeny transformační parametry pro převod souřadnic S-JTS [5] do systému S-1942/83 [2].

Ukázalo se, že přesnost převodu podstatně závisí na velikosti území, které se převádí.

Nejprve jsme transformovali československé území jako celek. Vstupní data tvořilo 58 bodů, jejichž souřadnice v obou systémech byly známy. Výsledky transformace jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4

Stupeň transformace	Střední odchylky	Maximální odchylky
4	±0,16 m	0,51 m
3	±0,16 m	0,51 m

Až do transformace 3. stupně se velikost středních a maximálních odchylek při přechodu na vyšší stupeň transformace podstatně zmenšovaly. Výsledky transformace 3. a 4. stupně jsou prakticky shodné.

Při rozdělení území republiky na tři pásy (viz obr. 1) a při použití konformní transformace čtvrtého stupně byly dosaženy výsledky uvedené v tab. 5.

Při rozdělení území ČSFR na 4 pásy (viz obr. 1) jsme dostali po konformní transformaci čtvrtého stupně výsledky uvedené v tab. 6.

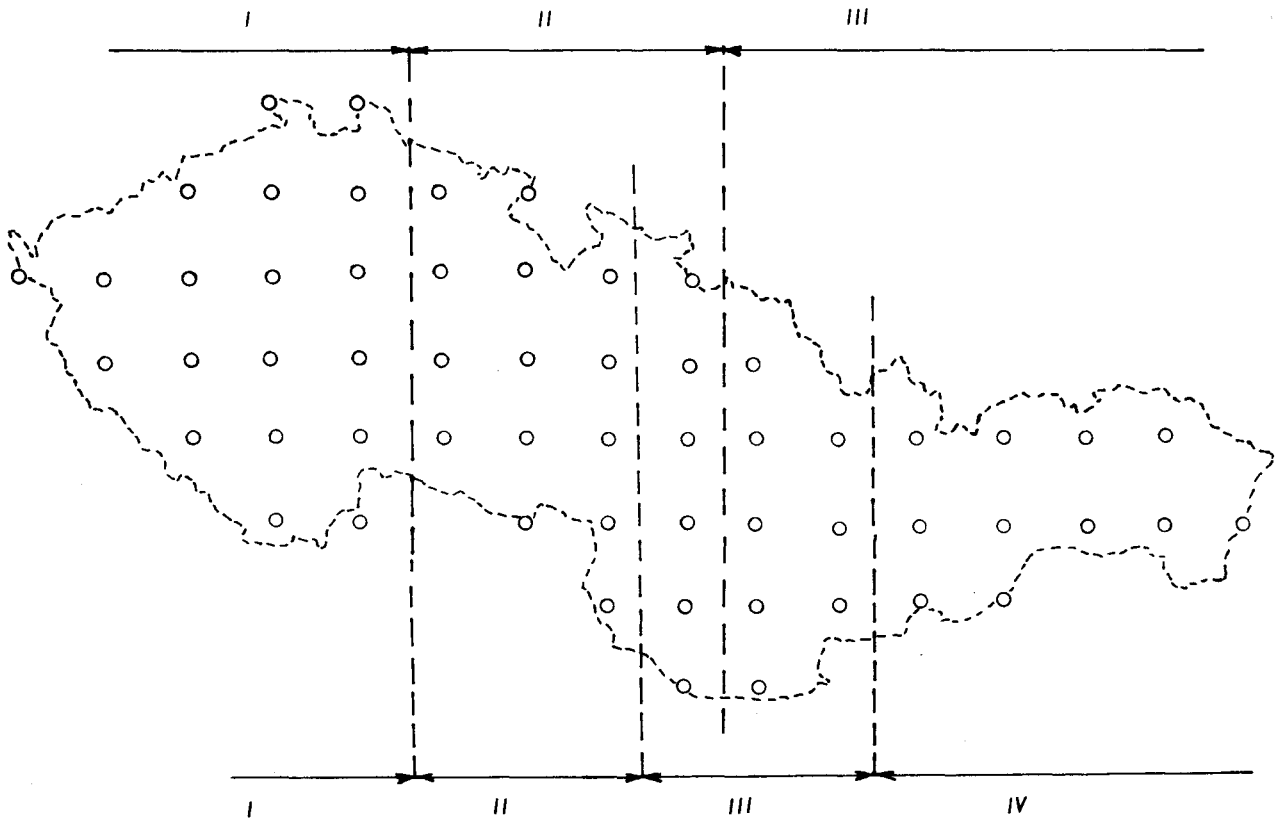
Tab. 5

Území	Počet bodů	Střední odchylka	Maximální odchylka
Čechy	19	± 7,8 cm	18 cm
Morava	20	±13,2 cm	30 cm
Slovensko	19	± 9,0 cm	17 cm

Tab. 6

Území	Počet bodů	Střední odchylka	Maximální odchylka
Čechy	19	± 7,8 cm	18,4 cm
Morava	14	±12,6 cm	21,3 cm
Moravský úval	14	± 8,5 cm	19,3 cm
Slovensko	11	± 8,6 cm	10,8 cm

Tab. 2.



Tab. 3.

Obr. 1

4. Závěr

V článku jsou uvedeny příklady na transformaci souřadnic čsl. trigonometrické sítě konformní transformací libovolného stupně s volitelnou přesností výsledků. Jde o rychlou, ekonomickou metodu, aplikovatelnou v polních podmínkách, zejména pro vojenské účely.

Výpočetní programy byly zpracovány zcela obecně pro počítače typu PP 06. Software pro maticový počet byl převzat z IBM SSP [1]. Vše pro dvojitou přesnost (tj. asi 15 platných cifer).

LITERATURA:

[1] IBM Application Program. System 360. Scientific Subroutine Package. Version III, V-th Edition, Aug. 1970.
[2] DUŠÁTKO, D.—TŮMA, M.: Informace o novém souřadnicovém systému 1942/83. Sbor. TS FMNO, Voj. top. obzor, 1990, č. 1, s. 32—43.
[3] PICK, M.: Transformace československé jednotné katastrální sítě s elipsoidu Besselova do systému 1942 na elipsoid Krasovského. Voj. top. obzor, Zvláštní výtisk, 1956 (III).
[4] RYŠAVÝ, J.: Vyšší geodesie. Praha. Česká matice technická 1947.
[5] DUŠÁTKO, D.—VATRT, V.: Informace o pracovním souřadnicovém systému S-JTS. Geod. a kart. obzor, *37* (*79*), 1991, č. 8.

Do redakce došlo: 6. 2. 1992

Lektorovali:
doc. Ing. Věnek Pavlica, CSc., VA Brno,
Ing. Drahomír Dušátko, CSc., FMO Praha

Pro příští GaKO připravujeme:

CEBECAUER, D.—BUŠOVSKÝ, J.—KOVALÍK, Š.: **Metóda najmenšej sumy absolútnych hodnôt opráv**

ZAJÍČEK, L.: **Využití výsledků vyrovnání Československé trigonometrické sítě v souřadnicovém systému S — 1942/83 pro zkvalitnění informací o systému S-JTSK**

CIMBÁLNÍK, M.—VEVERKA, B.: **Transformace mezi souřadnicovými systémy v mapových dílech ČSFR**

NEMEC, Š.: **Podnikateľský subjekt Slovenská kartografia, š. p., Bratislava v podmienkach privatizácie a prechodu na trhovú ekonomiku**

Informace o přemístění servisu Zeměměřického ústavu, Praha

Nová adresa: Zeměměřický ústav — servis
Parková 207
109 00 Praha 10-Dolní Měcholupy
Tel. 705 382

Příjem objednávek oprav je nutno předem dohodnout přímo s pracovníky servisu. V blízké době rozšíří servis své služby o opravy elektronických dálkoměrů fy Geodimeter AGA řady 200 a 400.

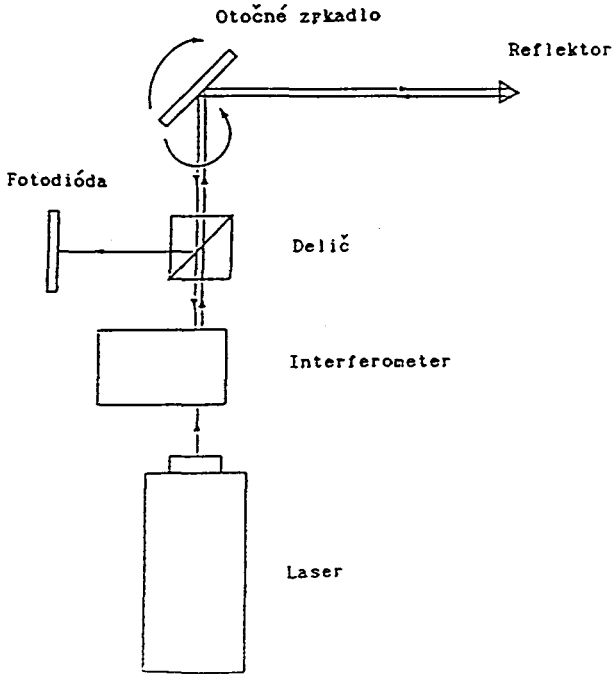
Dynamické meracie systémy v inžinierskej geodézii

Ing. Alojz Kopáčik, CSc.,
katedra geodézie Stavebnej fakulty STU
v Bratislave

528.02:528.48

1. Úvod

Stále sa zvyšujúca automatizácia a robotizácia strojárskej výroby dosiahla dnes už úrovne, na ktorej sa časti, resp. výrobné celky montujú bez zásahu človeka. Napríklad najväčší výrobca automobilov v Nemecku, firma Volkswagen, vyrobil už v roku 1983 až 30 % svojej produkcie na automatických výrobných linkách. Dnes je tento pomer ešte výraznejší.



Obr. 1 Princíp autonavádzania meracieho lúča

Dosahnutá úroveň automatizácie výroby si vyžaduje nepretržitú (kontinuálnu) kontrolu výrobného procesu (kontrola činnosti robotov, geometrie výrobných liniek a pásov) a výrobkov (kontrola geometrických parametrov výrobkov, ich pasportizácia a pod.). Kontinuálna kontrola výrobného procesu, dynamických charakteristík a parametrov montážnych robotov si vyžiadali nové, dynamické meracie systémy.

Uvedené skutočnosti výrazne ovplyvnili výskum a vývoj automatizovaných meracích systémov. Vychádzajúc z potreby mobilnosti a podľa možnosti širokej flexibility systémov, dostali zelenú meracie systémy vyvíjané na báze geodetických metód a postupov. Svojimi parametrami sa vyrovnali, ba v mnohých prípadoch aj prekonali, doteraz používané súradnicové meracie stroje.

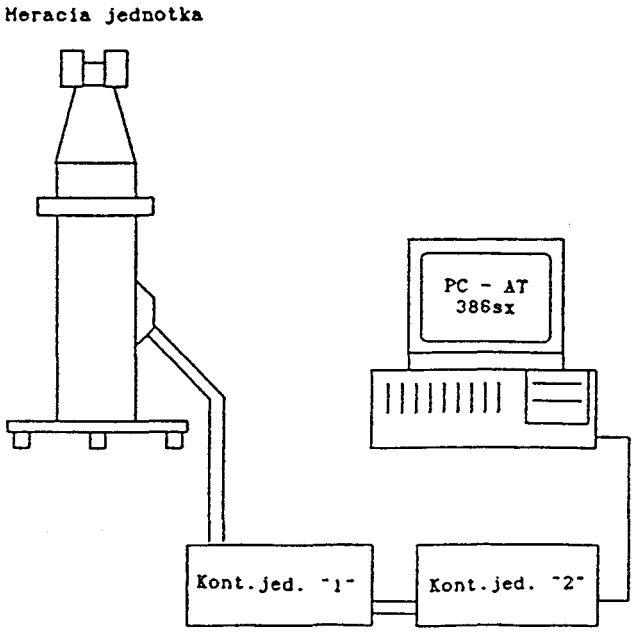
V súčasnosti sériovo vyrábané geodetické automatizované meracie systémy pracujú na báze priestorového pretínania napred. Základom týchto systémov sú elektronické teodolity, ktoré umožňujú pomerne presné meranie uhlov. Rozmer modelu je tu odvodený taktiež uhlovým meraním, pomocou vhodného dĺžkového etelónu (základnicová lata, invarové pásmo, nivelačná lata s invarovou stupnicou a pod.).

Prehľad týchto systémov, ich popis a charakteristiky sme uviedli v článku „Nové meracie systémy v inžinierskej geodézii" — pozri [2]. Najvyššiu úroveň automatizácie dosiahly systémy:
a) Leica Wild ATMS,
b) Leica Kern ECDS1,
c) Monmos Sokkisha.
Nevýhodou týchto systémov je pomerne dlhá doba cielenia a čítania, ktorá sa u dnes vyrábaných teodolitov pohybuje v rozsahu 0,1—0,5 sekundy (s). Celková doba jedného merania, vrátane navedenia teodolitu na cieľ, spracovania obrazu, transformácie snímkových súradníc na miestne súradnice systému, výpočet hodnoty meraného horizontálneho a vertikálneho smeru, však trvá 5—7 s. Na určenie geometrického tvaru pohybujúcich sa objektov, kontrolu dráhy a dynamických charakteristík montážnych robotov sú tieto systémy pomalé. Bolo treba hledať iné, rýchlejšie, avšak dostatočne presné systémy. Za danej situácie sa výrobcovia orientovali na:
a) vývoj systémov pracujúcich na báze trilaterácie,
b) zjednodušenie a zrýchlenie merania uhlov pri súčasnom zachovaní presnosti.

2. Meranie dĺžok lasermi

Vhodným riešením sa ukázalo presné meranie dĺžok pomocou elektromagnetického koherentného žiarenia, tj. laserom. Meranie dĺžok pomocou elektromagnetického žiarenia sa zakladá na porovnaní a vyhodnotení rozdielov vysielaného a prijímaného signálu. Voľba porovnávaného parametra určuje spôsob merania dĺžok. Vysielaný signál môže mať charakter kontinuálneho žiarania alebo môže pozostávať zo série impulzov. V prípade impulzného žiarania je voleným parametrom doba trvania impulzov. Pri kontinuálnom žiarení rozlišujeme žiarenie modulované a nemodulované. Ak je žiarenie modulované meracím signálom, bude voleným parametrom fáza meracieho signálu, resp. jeho fázový posun. Pri použití nemodulovaného žiarenia sa určuje fázový posun nosného signálu. Ak sa tento určuje na fyzikálnom princípe interferencie vysielaného (referenčného) a prijímaného žiarenia, hovoríme o interferometrii.

Presnosť určenia dĺžky interferenčným spôsobom je 0,01—0,10 μm. Túto extrémne vysokú presnosť je však možné dosiahnuť len pri meraní pomerne krátkych dĺžok (max. 1 m). Pri meraní väčších vzdialeností spôsobuje problémy meniace sa prostredie (atmosferické podmienky), nedostatočný výkon zdroja, resp. príliš veľký rozptyl vysielaného lúča. Optimálnou elimináciou uvedených vplyvov je možné určiť dĺžky v rozsahu až do 50 m, s presnosťou 1—5 μm.



Obr. 2 Konfigurácia systému SMART 310

Nevýhodou koherentného žiarenia je, že meranie nesmie byť přerušené. Prerušenie meracieho signálu znamená stratu merania, odrazný hranol sa musí vrátiť do východiskového bodu, meranie treba od začiatku opakovať. Širšiemu uplatneniu interferometrov doteraz bránila skutočnosť, že to boli prístroje neprenosné (stacionárne). Nové interferometre sú prenosné (mobilné), aj keď v obmedzených podmienkach laboratórií a priemyseľných hál.

3. Princíp dynamických interferometrických meracích systémov

Aby mohli byť interferometre využité pri vývoji dynamických meracích systémov, musel sa riešiť problém kontinuálneho merania. Bolo treba zabezpečiť, aby laserový lúč dopadal stále na odrazný hranol, resp. tento automaticky sledoval. Autonavádzanie vysielaného lúča riadi zabudovaná fotodióda, ktorá sníma časť odrazeného lúča (obr. 1). V prípade, že sa medzi dvoma meraniami odrazný hranol posunul, dopadne vysielaný lúč mimo jeho stred a spôsobí posunutie odrazeného lúča. Jeho časť dopadajúca na fotodiódu vyvolá výstupný signál, ktorý bude obsahovať informáciu o smere a veľkosti posunu odrazeného lúča. Táto je využitá pri riadení dvojice servomotorov, ktoré natáčajú zrkadlo v smere horizontálnom i vertikálnom do polohy, v ktorej sú hodnoty charakterizujúce posun odrazeného lúča minimálne, resp. nulové. Priame prepojenie fotodiódy a servomotorov umožňuje rýchlu korekciu natočenia zrkadla a vychýlenie laserového lúča tak, aby dopadal vždy na odrazný hranol.

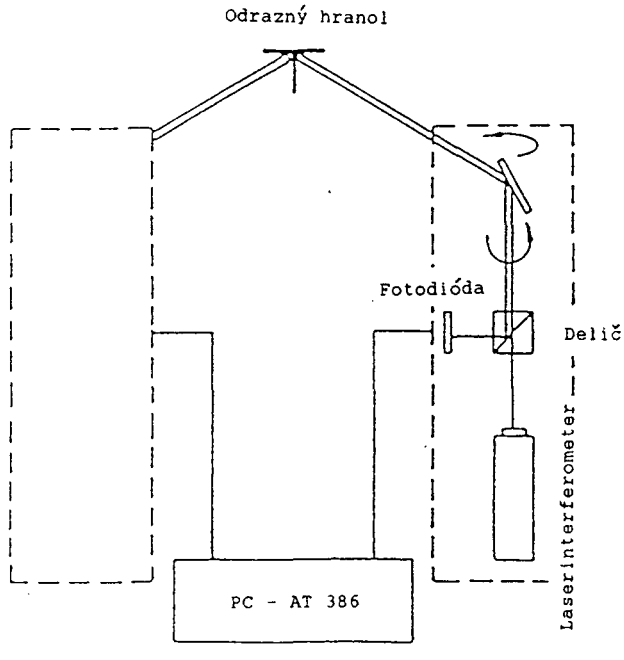
V posledných rokoch sa objavili postupy, ktoré okrem autonavádzania vysielaného lúča umožňujú určiť aj natočenie odrazného hranolu v priestore. Takýto merací systém umožňuje kontinuálne vyhodnotenie ďalších parametrov meraného objektu, resp. jeho dráhy (zakrivenie, smerové vektory dotykových plôch, orientácia rezov a pod.).

4. Určenie priestorových súradníc bodu dynamickými meracími systémami

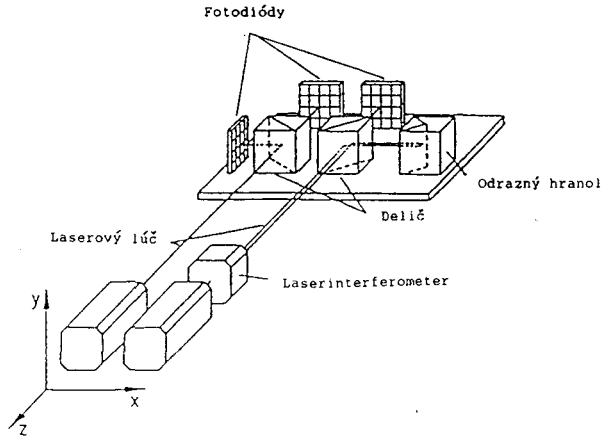
Všetky v súčasnosti známe dynamické meracie systémy, využívajúce interferenčné meranie dĺžok, pracujú na princípe geodetických metód. Výrobcovia sa orientovali na tri základné geodetické metódy:
— triangulácia,
— trilaterácia,
— tachymetria.
Nesmieme však zabudnúť, že ide o aplikáciu týchto metód vo veľmi striktne ohraničenom priestore, ktorý je vymedzený dosahom meracích systémov (cca 50 m) a že dĺžky sú merané s vysokou presnosťou (1 —5 μm), ktorú interferenčný spôsob umožňuje. Za daných okolností je možné akceptovať v zahraničnej literatúre používané označenia [5]:
— laserová triangulácia,
— laserová trilaterácia,
— laserová tachymetria.

Laserová triangulácia je metóda založená na báze klasickej triangulácie. Laserinterferometer sa tu využíva len na autonavádzanie vysielaného lúča. Uhly pootočenia vychyľovacieho zrkadla voči základným rovinám sú merané elektronicky dvojicou uhlových dekodérov. Na určenie priestorových súradníc je potrebné použiť minimálne dva prístroje, ktorých spojnica (spojnica ich vzťažných bodov) tvorí základňu pre priestorové pretínanie napred. Dynamické charakteristiky týchto systémov sú determinované rýchlosťou uhlomerných jednotiek a riadiaceho počítača.

Laserová trilaterácia je metóda založená na báze klasickej trilaterácie. Laserinterferometer sa tu využíva na meranie dĺžok a na autonavádzanie vysielaného lúča. Uhly nie sú merané. Súradnice bodu sú počítané z troji-



Obr. 3 Schéma systému pracujúceho na báze laserovej triangulácie



Obr. 4 Schéma meracieho systému

ce priestorových vzdialeností, metódou priestorového pretínania napred z dĺžok. Dynamické charakteristiky týchto systémov sú ohraničené rýchlosťou a možnosťami riadiaceho počítača.

Laserová tachymetria je založená na meraní priestorových polárnych súradníc — dĺžky a dvojice orientovaných uhlov. Laserinterferometer slúži na meranie dĺžky a na autonavádzanie vysielaného lúča. Uhly sú merané elektronicky. Priestorové súradnice počíta riadiaci počítač. Dynamické charakteristiky týchto systémov sú determinované dynamickými parametrami riadiaceho počítača a uhlomerných jednotiek.

5. Prototypy a sériovo vyrábané systémy

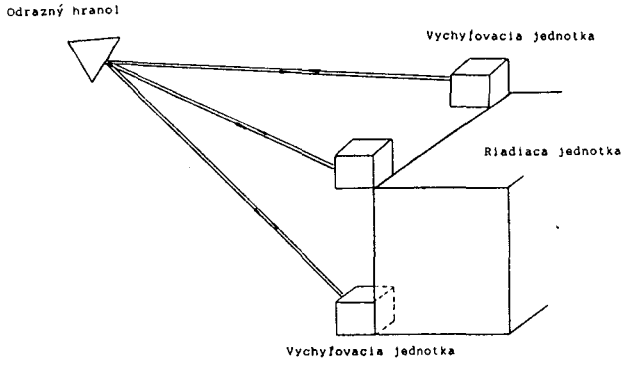
Do roku 1990 bolo v Európe vyvinutých viacero prototypov, z ktorých sa zatiaľ komerčne presadil len systém SMART 310 výrobcu Leica Kern [7]. Je jediným sériovo vyrábaným dynamickým meracím systémom pracujúcim na báze laserovej tachymetrie (obr. 2). Uhly sú merané elektronicky s presnosťou 2^{cc}, dĺžky interferenčným spôsobom s presnosťou 0,16 μm. Merané veličiny systém zaznamená 1 000-krát za sekundu. Riadiaci počítač počíta priebežne miestne pravouhlé alebo valcové súradnice, a tieto ukladá na harddisk. Vysoká frekvencia záznamu umožňuje automatické navádzanie prístroja na cieľ pohybujúci sa rýchlosťou až 2 m.s^{-1}. Presnosť dynamického merania závisí od rýchlosti pohybu cieľa, je 20 — 50 μm.m^{-1}. Rozsah merania dĺžok je 0,2—25,0 m, uhlov 240° (v rovine horizontálnej), resp. ±45° (v rovine vertikálnej). Hmotnosť prístroja je 30 kg, kontrolných jednotiek s počítačom 15 kg. Vysoká presnosť a dynamické vlastnosti systému SMART 310 umožňujú jeho použitie ako dynamického kalibračného etalónu. Je vhodný na kalibráciu veľkých NC, CNC sústruhov, rektifikáciu robotov, na určenie geometrického tvaru a deformácií funkčných celkov družíc, rakiet, automobilov a lodí. Bol použitý na scanerovanie a digitalizáciu nepravidelných plôch rôznych modelov, parabolických antén, karosérií a ich častí.

Na Ústave informatiky a spracovania údajov v Karlsruhe bol vyvinutý merací systém na testovanie dráhy priemyselných robotov [1]. Pohyb pracovného ramena robota sleduje dvojica laserových lúčov vysielaných dvojicou polárnych interferometrov (obr. 3). Autonavádzanie lúčov na pohybujúci sa odrazný hranol zabezpečuje fotodióda a servomotormi otáčané zrkadlo. Jeho natočenie, odklon od vodorovnej a zvislej roviny, je merané elektronicky. Dynamické vlastnosti a presnosť systému ohraničujú parametre uhlomerných jednotiek. Presnosť systémom určených priestorových súradníc je 0,1—0,5 mm pri rozsahu merania do 10 m.

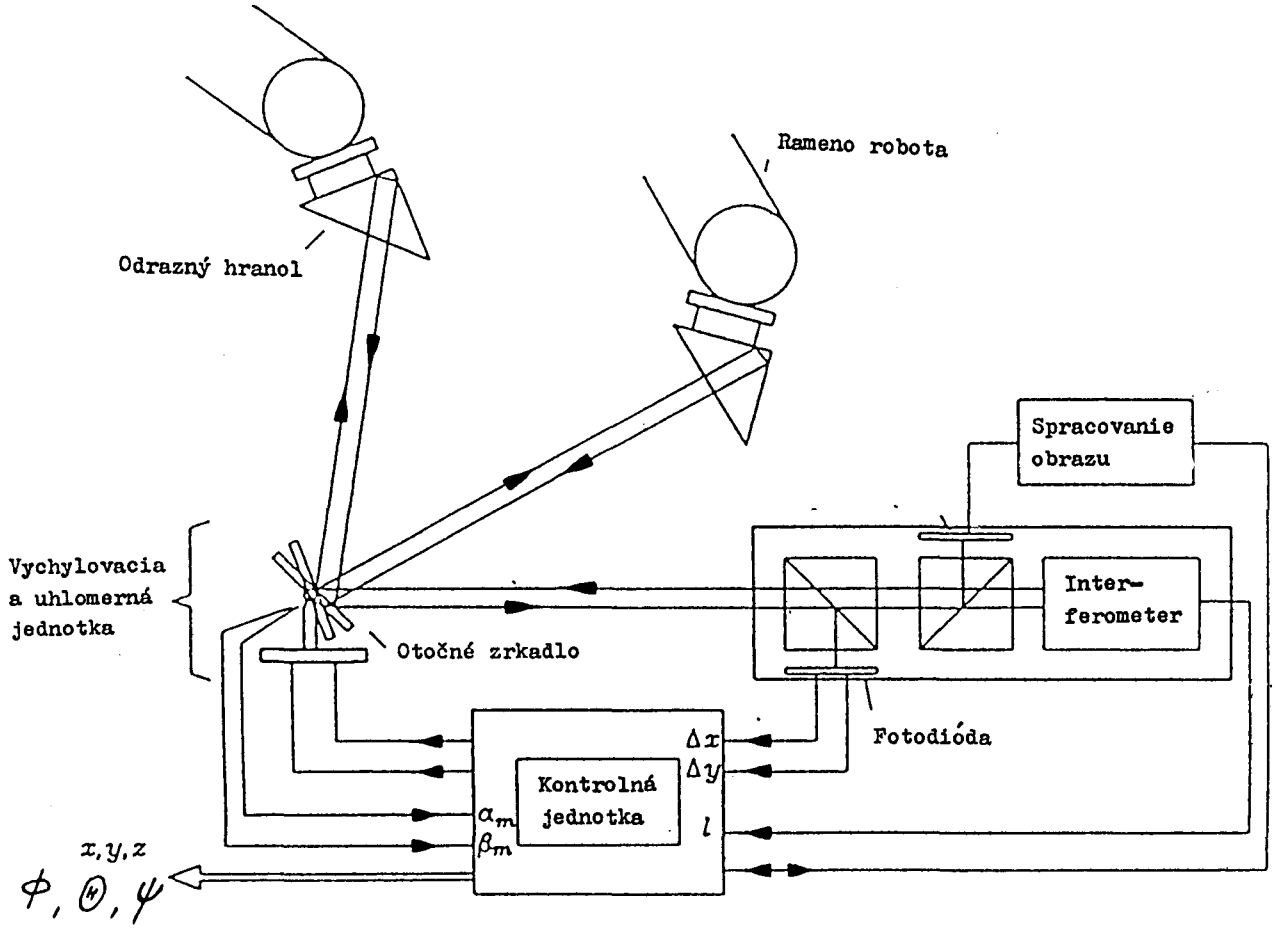
Na obr. 4 je znázornená schéma meracieho systému vyvinutého na kontrolu dráhy robota, ktorého pracovný priestor má tvar vodorovne uloženého valca. Systém pozostáva z časti, ktorá vysiela dva laserové lúče a z meracej hlavy upevnenej na ramene testovaného robota. Pracuje v miestnej súradnicovej sústave, ktorá je definovaná dvojicou vysielaných lúčov. Polohu a natočenie meracej hlavy určuje systém trojicou fotodiód s presnosťou 0,05 mm, resp. 0,02°. Rozsah merania je 0—10 m pri priemere valcov 20 mm. Systém bol vyvinutý na Ústave obrábacích strojov a priemyselnej technológie v Karlsruhe [4].

Na obr. 5 je znázornená schéma prototypu pracujúceho na báze laserovej trilaterácie. V prístroji sú zabudované tri lineárne interferometre. Vysielané laserové lúče sú vychyľované v smere odrazného hranolu trojicou otočných zrkadiel. Ich natáčenie v horizontálnom a vertikálnom smere zabezpečujú vždy dva servomotory riadené výstupnými signálmi fotodiód. Prístroj meria priestorové vzdialenosti odrazného hranola a vzťažných bodov zrkadiel (priesečník vodorovnej a zvislej osi otáčania). Vzájomná poloha vzťažných bodov zrkadiel je daná konštrukciou prístroja a definovaná priestorovými súradnicami v miestnej súradnicovej sústave prístroja. Súradnice odrazného hranola počíta počítač metódou priestorového pretínania napred. Presnosť systémom určených súradníc je 0,01—0,05 mm. Dynamické vlastnosti systému obmedzuje maximálna uhlová rýchlosť vychyľovacích zrkadiel a rýchlosť počítača [5].

Najnovším z rady prototypov je Laser Tracking Systém (LTS) vyvinutý na Ústave flexibilnej automatizácie Technickej univerzity vo Viedni [3]. Systém pracuje na báze laserovej tachymetrie. Zabudovaný HeNe-interferometer umožňuje určenie dĺžky s presnosťou 0,01 mm. Uhly sú merané dvojicou uhlových dekodérov s presnosťou 3^{cc}. Autonavádzanie laserového lúča realizuje dvojica servomotorov riadených výstupným signá-

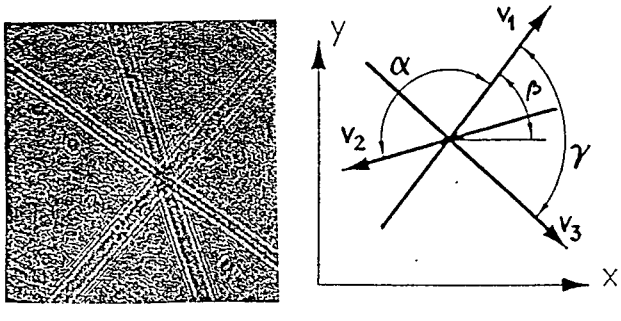


Obr. 5 Schéma systému pracujúceho na báze laserovej trilaterácie



Obr. 6 Princíp LTS (prevzaté z [3])

lom fotodiódy (obr. 6). Priestorové súradnice sú počítané 100-krát za sekundu. Rýchlosť pohybu pozorovaného bodu môže byť až 10 m.s^{-1}, zrýchlenie 100 m.s^{-2}. Systém LTS je ako jediný schopný určiť nie len polohu ale aj orientáciu odrazného hranola v priestore. Túto definuje trojicou uhlov Φ, Θ a Ψ, ktorých hodnoty počíta riadiaci počítač súčasne so súradnicami. Hodnotu orientačných uhlov určí LTS z obrazu odrazného hranola, ktorý sníma a súčasne digitalizuje zabudovaná CCD-kamera (obr. 7). Počítač určí pomocou špeciálneho softwaru polohu hrán V_1, V_2, V_3 odrazného hranola a vypočíta nimi zovreté uhly α, β a γ. Z týchto potom počíta orientačné prvky Φ, Θ a Ψ.



Obr. 7 Obraz a geometrická interpretácia hrán odrazného hranola (prevzaté z [3])

6. Záver

Oblasť kontroly strojárskej výroby, vrátane rektifikácie výrobních liniek a robotov, sa stala doménou automatizovaných meracích systémov budovaných na báze geodetických metód. Svojou presnosťou, širokou flexibilitou a mobilnosťou vytlačili doteraz používané súradnicové meracie stroje.

V článku popísané systémy využívajú na meranie dĺžok laserinterferometre. Vysoká presnosť interferenčným spôsobom meraných dĺžok umožňuje použiť na určenie priestorových súradníc pozorovaných bodov aj metódy kombinované (založené na meraní uhlov a dĺžok), resp. trilateráciu. Presnosť takto určených súradníc je 0,1—20,0 μm.

Novinkou, ktorú tieto systémy priniesli, je dynamický mód merania. Tento umožňuje určit súradnice, resp. dráhu v priestore sa pohybujúceho objektu. Sledovanie objektu na jeho dráhe prebieha automaticky. Presnosť priestorových súradníc určených dynamickým módom merania je 20—50 μm. Rýchlosť, resp. zrýchlenie objektu môže byť až 10 m.s^{-1}, resp. 100 m.s^{-2}.

Dynamické vlastnosti týchto systémov umožňujú ich použitie ako dynamického kalibračného etalónu. Sú vhodné na kalibráciu veľkých NC, CNC sústruhov, rektifikáciu robotov, kontrolu ich dráhy a pod. Veľmi výhodne sú použiteľné pri digitalizácii nepravidelných plôch priemyselných objektov.

Vývoj automatizovaných meracích systémov smeruje k vývoju a výrobe meracích systémov, schopných monitorovať dynamické javy bez najmenšieho obmedzenia alebo narušenia ich priebehu. Výrazný záujem o tieto systémy v súčasnosti prejavuje strojárska výroba, ktorá ich využíva na kontrolu výrobného procesu, pasportizáciu výrobkov, kalibráciu výrobných liniek a robotov. Požiadavka úplnej automatizácie výroby v mnohých odvetviach priemyslu otvára nové možnosti použitia týchto systémov najmä v oblasti riadenia inteligentných výrobných liniek.

LITERATÚRA:

[1] BECKER, P. J.—BOLLE, HL.—MITSCHKE, H.: Lasertriangulation für die genaue dreidimensionale Vermessung von Robotern. [Fraunhofer—Geselschaft—Bericht.] Karlsruhe 1984, s. 2—84.
[2] KOPÁČIK, A.—SVOBODOVÁ, B.: Nové meracie systémy v inžinierskej geodézii. Geodetický a kartografický obzor, *36* (*78*), 1990, č. 11, s. 283—289.
[3] PRENNIGER, J. P.—GANDER, H.—VINCZE, M.: Real Time 6DOF Measurement of Robot End-Effectors. In: International Robot & Vision Automation Show & Conference. Michigan, Detroit 22—24. Oct. 1991, p. 1/1—13.
[4] REICHLING, B.: Lasergestütze Positions- und Bahnvermessung von Industrierobotern. [Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe.] Karlsruhe 1988, Band 12, s. 5—52.
[5] SCHLEMMER, H.: 3D-Messverfahren mit Interferometern. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 98, 1991, č. 8—9, s. 275—283.
[6] SCHLEMMER, H.: Anforderungen, Stand und Entwicklung von Industrie-Meßsystemen. Zeitschrift für Vermessungswesen, 114, 1989, č. 7—8, s. 365—373.
[7] SMART 310 — Dynamisch messen. Die Hardware. [Firemné prospekty.] Kern & Co. AG, Leica Gruppe, Arrau, Schweiz.

Do redakcie došlo: 12. 3. 1992

Lektoroval:
Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.,
katedra speciální geodézie
FSv ČVUT, Praha

OSOBNÍ ZPRÁVY

Prof. Ing. Dr. Josef Vykutil — 80 let

92. Vykutil: 528

Dne 1. září 1992 se dožívá v plné svěžesti osmdesáti let významný český geodet prof. Ing. Dr. Josef Vykutil. Je absolventem oboru zeměměřického inženýrství na České vysoké škole technické v Brně v r. 1934 a v r. 1946 dosáhl doktorátu technických věd.

Do r. 1951 byl důstojníkem Vojenského zeměpisného ústavu v Praze, mimo období války, kdy byl zaměstnán v Zeměměřickém úřadu. Po založení Vojenské technické akademie v Brně nastoupil na tuto vysokou školu jako profesor a v letech 1953—58 zastával funkci náčelníka katedry geodézie a fotogrammetrie. Od r. 1973 byl profesorem na fakultě stavební VUT v Brně na katedře geodézie, kde působil až do svého odchodu do důchodu v r. 1988.

Je uznávanou vědeckou osobností vysokých kvalit. Jeho práce významně přispěly k obohacení poznatků v oboru geodézie a kartografie, mají náležitý ohlas a jsou citovány našimi i zahraničními odborníky. Prof. J. Vykutil je autorem řady vědeckých knižních publikací a mnoha článků v GaKO i v jiných odborných časopisech u nás i ve světě.

Během dlouholeté pedagogické činnosti vychoval prof. J. Vykutil početnou řadu inženýrů — geodetů, kteří se úspěšně uplatňují v geodetické praxi i v topografické službě v armádě. Napsal řadu skript a učebnic, které jsou odbornou veřejností a především studenty ceněny pro svou srozumitelnost při současném zachování vysoké náročnosti na odborný obsah. Své bohaté zkušenosti v plné míře odevzdával mladším spolupracovníkům k využití v další činorodé práci a významně se zasloužil o vědecký růst pracovníků katedry geodézie VUT.

Prof. J. Vykutil působil v orgánech bývalé ČSVTS a v Mezinárodní unii geodetické a geofyzikální, aktivně se zúčastnil mnoha vědeckých symposií a svou činností a svými pracemi si získal jméno a uznání u nás i v zahraničí.

U příležitosti jeho životního jubilea mu jeho spolupracovníci z ústavu geodézie VUT Brno přejí pevné zdraví, hodně tvůrčích sil a životního elánu, osobní spokojenosti a dobrý start do devátého desetiletí. S přáním všeho nejlepšího se připojuje i redakční rada a redakce našeho časopisu.

MAPY, ATLASY

Mapy a atlasy mezinárodně

912.43+912(084.4)(100)

Ve dnech 14. až 17. května 1992 jsme se mohli účastnit 2. mezinárodního knižního veletrhu v Praze. Ve čtyřech poschodích Paláce kultury se představila knižní produkce 700 nakladatelů ze třiceti zemí. Mezi nesčetnými knihami našly své místo mapy a atlasy.

Pražská **Kartografie** má ve své sbírce širokou paletu map pro veřejnost. Pro cestování v tuzemsku jsou určeny globální automapy ČSFR a autoatlasy. Dále lokální automapy v měřítku 1 : 200 000. Pro jízdu do ciziny je připraven autoatlas Evropy a automapy evropských států. Čechy a Moravu pokrývá soubor 46 turistických map. Poměrně bohatý je soubor plánů českých a moravských měst — zpravidla v rozpětí měřítek 1 : 10 000 až 1 : 20 000. Jsou připraveny i plány evropských měst a to těch, které jsou hojně navštěvovány. S potěšením zaznamenáváme, že edice souborů automap, turistických map, plánů měst má výraznou grafickou úpravu obálky. Speciální tématiku má soubor 11 map, zachycujících rybářské revíry České republiky (ČR).

K celosvětovým oslavám objevení Ameriky vydá Kartografie Praha 8 reprodukcí vzácných barevných map z 15. a 16. století. Mapy jsou určeny pro širokou veřejnost a sběratele. Bude na nich zobrazena historie hledání cesty do Orientu, rekonstrukce Kolumbových výprav i vývoj mapování amerického kontinentu.

Výstavy se zúčastnila i **Slovenská kartografia**. Ediční program v oblasti automap, plánů měst, turistických map i jinak tématicky zaměřených sleduje ve Slovenské republice (SR), obdobné cíle jako edice pražské Kartografie v ČR. Zaměřme se proto na další postřehy z výstavy.

Slovenská kartografia může nabídnout veřejnosti reliéfní mapy. Ukázkou byla reliéfní mapa obou polokoulí, a to na ploše 1 m^2. Vedle kulovitého hvězdného glóbu byl vystaven i skládací hranatý glóbus — dvacetičtyřstěn.

Z tematických map byla předložena mapa krojů SR. Zajímavým informačním doplňkem byla opatřena automapa Středomoří. K nejznámějším turistickým oblastem byly přímo v mapě připojeny údaje o klimatických podmínkách. Pro milovníky historie a sběratele byly určeny historické mapy, a to Bratislava 1765 a 1820 a vývoj dunajských ramen od 17. do 19. století.

Dvě novinky zaujaly zvlášť. Především knižní publikace *„Rekordy Zeme"*. Planeta Země se tu představuje na mapách, obrázcích a fotografiích spolu s doprovodným textem jako „rekordérka". Např. nejvzdálenějším bodem od středu Země, nejvyšším převýšením atd. Takových „rekordů" je zaznamenáno na 333 a to na podkladě současných vědeckých poznatků a možností.

Druhou novinkou je *Velká encyklopédia vlajok.* Na 400 stranách textu doplněného 1250 barevnými vlajkami, 250 státními znaky, 350 mapami je podán přehled o vývoji vlajek států a i příslušného regionu. Publikace je výsledkem několikaletého úsilí autora Ronalda V. Baara a bude jistě přínosem pro vexilology a heraldiky, ale i pro milovníky historie a geografy. (Pozn. lat. vexillum = vlajka, prapor, korouhev.)

Představujeme **Vojenský zeměpisný ústav v Praze** (VZÚ). S odstupem několika desítek let dochází k renezanci souborného zobrazení Československa na topografických mapách. Kdysi ve veřejnosti oblíbené speciální mapy 1 : 75 000 budou mít pokračovatele. VZÚ a nakladatelství Naše vojsko připravují *soubory topografických map 1 : 50 000.* Dva takové soubory již byly vydány — Šumava (19 listů) a Český les (13 listů). V roce 1992 by měly vyjít soubory Podyjí (12 listů), Třeboňsko a Novohradsko (14 listů), Karlovarsko a Chebsko (10 listů). Mapové listy úvodních souborů jsou situovány do území podél západní a jižní hranice ČR.

Konečným cílem v dalších letech je úplné zobrazení Československa na mapách v měřítku 1 : 50 000.Každý list zobrazuje území o velikosti přibližně 18 × 18 km. Původní charakter vojenských topografických map je zachován. Mapy jsou však doplněny o nejnutnější turistické značky.

Pro motoristickou veřejnost byla vydána *vojenská automapa 1 : 400 000.* Druhé vydání této mapy svědčí o její oblíbenosti. Pro cestování na kole jsou připraveny cykloturistické mapy „Z Prahy na sever" a „Z Prahy na jih". Obě mapy poskytují výběr a plánování výletů, rekreační a sportovní vyžití spojené s poznáváním krajiny a jejich památek.

Mezi vystavovateli byla firma **GeoCenter International Praha**, která nabízela autoatlasy, automapy a plány měst evropských zemí včetně ČSFR. Mezi dalšími byla expozice maďarského podniku **Cartographia Budapest** s širokou paletou kartografických děl. Kromě klasických edic, pro cestování vozem a pěšky, jsou k dispozici různé příruční mapy z území celého kontinentu, atlasy, globy, ale i některé listy Maďarska měřítkové řady 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 100 000 a 1 : 200 000.

Na 2. mezinárodním knižním veletrhu v Praze měl světovou premiéru *Marco Polo Euro Atlas*, jehož vydavatelem je **Mairs Geographischer Verlag**. Atlas ve spirálové vazbě má 250 stran a je motivován jako autoatlas. Jeho rejstřík obsahuje téměř sto tisíc míst z celé Evropy. Prodejní cena je 249,— Kčs. Vídeňská firma **Freytag & Berndt** nabízela mapy pro cestování pěšky, kolem, autem, ale i pro kanoistiku. Dále mapy různých států světa a reliéfní mapy.

S kartografickými díly cizích firem se budeme na našem trhu setkávat častěji. Považovali bychom za vhodné seznámit se blíže s jejich vydavatelským a nakladatelským profilem. Pokusíme se tak učinit v některém dalším čísle našeho časopisu.

Doc. Ing. Vladimír Kraus, CSc.,
Praha

DECO PRAHA

Zeměměřické středisko VPÚ DECO Praha a. s. přijme nové spolupracovníky — zeměměřiče s praxí. Máme zájem i o držitele oprávnění podle § 3, odst. 1 a vyhl. č. 60/73 Sb. nebo o držitele oprávnění pro výkon funkce odpovědného geodeta.

Naše pracoviště zajišťuje široké spektrum geodetických prací:

- *vyhotovujeme účelové mapy velkého měřítka,*
- *provádíme ověření a zaměření podzemních inženýrských sítí včetně zajištění podkladů u správců,*
- *vyhotovujeme základní mapy závodů, dálnic apod.,*
- *provádíme geodetické a stavební zaměření budov a objektů,*
- *vypracováváme projekty vytyčovacích sítí a projekty sledování posunů, včetně realizací a zaměření,*
- *provádíme další speciální práce inženýrské geodézie.*

Používáme špičkové přístrojové i programové vybavení

Rozsah působnosti prací je po celé České republice, převážně ve středních Čechách a v Praze. Vítáme možnost řízení služebního vozidla.

Podrobné informace a nabídky u vedoucího zeměměřického střediska na adrese:

VPÚ DECO *Praha a. s. — zeměměřické středisko*
Ing. Miroslav Bartík
U Sluncové 2
186 00 Praha 8
☎ *235 2411, 217 22923*

Příprava termovizní aparatury pro pozemní měření tepelných příznaků melioračního systému
Foto: Ing. M. Pařík, Zeměměřický ústav, Praha